Michael Gibbons, Camille Limoges,
Helga Nowotny, Simon Schwartzman,
Peter Scott y Martin Trow

La nueva producción del conocimiento

La dinámica de la ciencia y la investigación en las sociedades contemporáneas

Colección Educación y conocimiento
Director: Miguel A. Pereyra
Catedrático de Educación Comparada
Universidad de Granada

Ediciones Pomares-Corredor, S. A.
Caspe, 162 – 08013 Barcelona

Introducción

Este volumen se dedica a explorar los cambios en el modo de producción del conocimiento en la sociedad contemporánea. Su ámbito es amplio y se ocupa de las ciencias sociales y las humanidades, así como de la ciencia y la tecnología, aunque se dedican menos páginas a las primeras que a las segundas. Se han identificado una serie de atributos que sugieren que empieza a cambiar la forma en que se está produciendo el conocimiento. En la medida en que esos atributos se dan a través de una amplia variedad de actividades científicas y académicas, y persisten a través del tiempo, puede decirse que constituyen tendencias en la forma de producir el conocimiento. No se plantea juicio alguno en cuanto al valor de tales tendencias (es decir, no se dice si son buenas y hay que estimularlas, o malas y hay que resistirse a ellas), pero parece ser que ocurren con mayor frecuencia en aquellos ámbitos que definen actualmente la frontera y entre aquellos otros considerados como líderes en sus diversos campos. Estas tendencias no deberían ignorarse, ya que por lo visto afectan a los líderes intelectuales, en la medida en que la evidencia parece indicar que la mayoría de los avances producidos en la ciencia han sido realizados por el cinco por ciento de la población de científicos activos.

En este libro se plantea la tesis de que estas tendencias suponen, no individualmente, sino en su interacción y combinación, una transformación en el modo de producción del conocimiento. La naturaleza de esa transformación se elabora en el capítulo 1 para la ciencia, en el capítulo 2 para la tecnología, en el capítulo 4 para las humanidades, y a lo largo de todo el texto para las ciencias sociales. La transformación se describe en términos del surgimiento de lo que llamaremos el modo 2, junto con los modos tradicionales de producción del conocimiento. En contraste con el conocimiento tradicional, que llamaremos modo 1, generado dentro de un contexto disciplinar, fundamentalmente cognitivo, el conocimiento del modo 2 viene creado en contextos transdisciplinares sociales y económi-

cos más amplios. El propósito de introducir ambos modos es esencialmente heurístico, en la medida en que se clarifican las similitudes y diferencias entre los atributos de cada uno de ellos, lo que nos ayuda a comprender y explicar tendencias que se pueden observar en todas las sociedades modernas. Estamos convencidos de que el surgimiento del modo 2 es profundo y cuestiona la adecuación de aquellas instituciones con las que estamos familiarizados, dedicadas a la producción de conocimiento, ya se trate de universidades, instituciones gubernamentales de investigación o laboratorios de grandes empresas.

Antes de analizar los atributos del modo 2 y de cómo difieren con respecto al modo 1, es necesario llamar la atención sobre una dificultad inherente a cualquier intento que se haga por describir un nuevo modo de producción del conocimiento. En la medida en que domina un modo concreto de producir conocimiento, todas las otras afirmaciones se juzgarán tomando ese modo concreto como referencia. En el caso extremo, no se podrá producir nada reconocible como conocimiento fuera de la forma socialmente dominante. Esa fue la situación a la que se vieron enfrentados los primeros que practicaron la «nueva» ciencia cuando se encontraron frente a los peripatéticos aristotélicos, al principio de la Revolución Industrial. Existe una pauta histórica recurrente según la cual aquellos cuyas ideas son dominantes describen como equivocadas las innovaciones intelectuales que se producen, para después ignorarlas, hasta que son finalmente asumidas por parte de esos mismos adversarios originales, que terminan por considerarlas como su propio invento. Parte de la explicación de este fenómeno se deriva del hecho de que es necesario empezar por describir las características de lo nuevo en términos de lo viejo. Cabe esperar que surja otra dificultad cuando el nuevo modo crece a partir del previamente existente, como sucede aquí. Aunque siempre es deseable ser claros en cuanto a los términos que se utilicen, en esta primera fase en la que tantas cosas son fluidas, no es posible distinguir inequívocamente los dos modos. Esto, sin embargo, no es una debilidad grave, pues si el nuevo modo se convirtiera en una característica permanente del paisaje social, surgiría un vocabulario nuevo para manejar la situación. Y, desde luego, más tarde se plantearía uno a qué venía tanto jaleo. Esperamos que se pueda encontrar un término más apropiado para describir el modo 2, pero es importante tener en cuenta la necesidad de elegir un nuevo nombre porque los términos convencionales son inadecuados, como ciencias aplicadas, investigación tecnológica o investigación y desarrollo.

El problema del lenguaje es particularmente difícil cuando se trata de describir la naturaleza del modo 2 en aquellos ámbitos que afectan a la

ciencia natural. En las culturas occidentales, sobre todo, los términos ciencia y conocimiento se utilizan a menudo de modo indistinto o combinados para formar el de conocimiento científico. En las primeras fases de las revoluciones científicas fue importante distinguir las formas de conocimiento científico del no científico. Se podría escribir una historia de la producción del conocimiento desde el siglo XVII en términos de los esfuerzos realizados para conseguir el reconocimiento como científicos por parte de los defensores de las formas previamente no científicas de producción del conocimiento. En las culturas occidentales, participar en la producción no científica del conocimiento equivale a excluirse a sí mismo de lo aceptable, de modo que existe actualmente un sentido característico de aislamiento social asociado con la participación en una actividad no científica. Pero, en este contexto, el término científico ya implica una forma característica de producción del conocimiento. Su ideal es la física empírica y matemática newtoniana.

En este ensayo, el término modo 1 se refiere a una forma de producción de conocimiento, a un complejo de ideas, métodos, valores y normas que ha crecido hasta controlar la difusión del modelo newtoniano a más y más ámbitos de investigación, para asegurar su conformidad con aquello que se considera como una práctica científica sana. El modo 1 persigue sintetizar en una sola frase las normas cognitivas y sociales que deben seguirse en la producción, legitimación y difusión del conocimiento de este tipo. Para muchos, el modo 1 es idéntico con lo que se quiere dar a entender por ciencia. Sus normas cognitivas y sociales determinan qué se considerará como problemas significativos, a quién se le debe permitir practicar la ciencia y qué constituye la buena ciencia. Las formas de práctica que se adhieren a estas reglas son, por definición, científicas, mientras que aquellas otras que las violan, no lo son. Es debido en parte a estas razones por lo que, mientras que en el modo 1 es convencional hablar de ciencia y de científicos, ha sido necesario utilizar los términos más generales de conocimiento y de personas practicantes (en el sentido de que practican o ejercen) a la hora de describir el modo 2. Esto sólo persigue la intención de destacar las diferencias, y no la de sugerir que los practicantes del modo 2 no se estén comportando de acuerdo con las normas del método científico. Creemos que hay suficientes pruebas empíricas que indican que está empezando a surgir un conjunto característico de prácticas cognitivas y sociales, y que tales prácticas son diferentes a las que gobiernan el modo 1. La única cuestión que se puede plantear es si son lo bastante diferentes como para exigir una nueva etiqueta, o si se las tiene que considerar simplemente como desarrollos que se pueden aco-

modar dentro de las prácticas existentes. La respuesta final a esta pregunta depende en parte de obtener más información y, en parte, de cómo se adapte el modo 1 a las condiciones cambiantes en el ambiente económico y político.

Los cambios en la práctica proporcionan el punto de partida empírico de esta investigación. Esos cambios aparecen en las ciencias naturales y sociales, pero también en las humanidades. Es posible describirlos en términos de una serie de atributos que, tomados en conjunto, tienen coherencia suficiente como para sugerir la emergencia de un nuevo modo de producción del conocimiento. Analíticamente, se utiliza el conjunto de atributos para permitir que se especifiquen con cierta claridad las diferencias entre el modo 1 y el modo 2. Para sintetizar, y utilizando términos que se explorarán más ampliamente a continuación: en el modo 1 se plantean y se solucionan los problemas en un contexto gobernado por los intereses, en buena parte académicos, de una comunidad específica. En contraste, el conocimiento del modo 2 se lleva a cabo en un contexto de aplicación. El modo 1 es disciplinar, mientras que el modo 2 es transdisciplinar. El modo 1 se caracteriza por la homogeneidad, el modo 2 por la heterogeneidad. Organizativamente, el modo 1 es jerárquico y tiende a preservar su forma, mientras que el modo 2 es más heterárquico y transitorio. Cada uno de ellos emplea un tipo diferente de control de calidad. En comparación con el modo 1, el modo 2 es más socialmente responsable y reflexivo. Incluye a un conjunto de practicantes cada vez más amplio, temporal y heterogéneo, que colaboran sobre un problema definido dentro de un contexto específico y localizado.

Algunos atributos de la producción del conocimiento en el modo 2

Conocimiento producido en el contexto de aplicación

El contraste fundamental se produce aquí entre la solución del problema que se lleva a cabo siguiendo los códigos de práctica relevantes para una disciplina en particular, y la solución del problema que se organiza alrededor de una aplicación concreta. En el primer caso, el contexto se define en relación con las normas cognitivas y sociales que gobiernan la investigación básica o la ciencia académica. Últimamente, esto tiende a suponer una producción de conocimiento llevada a cabo en ausencia de algún objetivo práctico. En el modo 2, por el contrario, el conocimiento

resulta a partir de una gama más amplia de consideraciones. Tal conocimiento tiene la intención de ser útil para alguien, ya sea en la industria o en el gobierno o, más en general, para la sociedad, y ese imperativo está presente desde el principio. El conocimiento se produce siempre bajo un aspecto de negociación continua, y no será producido a menos y hasta que se incluyan los intereses de los diversos actores. Tal es el contexto de la aplicación. La aplicación, en este sentido, no es desarrollo de un producto llevado a cabo para la industria; los procesos o mercados que operan para determinar qué conocimiento se produce son mucho más amplios de lo que normalmente se da a entender cuando se habla de aplicar las ideas al mercado. A pesar de todo, la producción de conocimiento en el modo 2 es el resultado de un proceso en el que se puede decir que operan los factores de la oferta y la demanda, pero las fuentes de la oferta son cada vez más diversas, como lo son las demandas de formas diferenciadas de conocimiento especializado. Tales procesos o mercados especifican lo que queremos dar a entender por el contexto de aplicación. Puesto que incluyen mucho más que consideraciones comerciales, puede decirse que, en el modo 2, la ciencia ha ido más allá del mercado. La producción de conocimiento se difunde a través de la sociedad. Esa es la razón por la que también hablamos aquí de conocimiento socialmente distribuido.

Puede decirse que la investigación realizada en el contexto de aplicación caracteriza a una serie de disciplinas en las ciencias aplicadas y en la ingeniería, como por ejemplo en la ingeniería química, la ingeniería aeronáutica o, más recientemente, en la ciencia de los ordenadores. Históricamente, esas ciencias se establecieron en las universidades pero, en términos estrictos, no se las puede considerar como ciencias aplicadas porque fue precisamente la ausencia de ciencia relevante lo que las hizo surgir. Fueron genuinamente nuevas formas de conocimiento, aunque no necesariamente de producción de conocimiento, porque también ellas se convirtieron pronto en lugares de producción de conocimiento basado en disciplinas, al estilo del modo 1. Estas disciplinas aplicadas comparten con el modo 2 algunos aspectos del atributo de conocimiento producido en el contexto de aplicación. Pero el contexto es más complejo en el modo 2. Está configurado por un conjunto bastante más diverso de demandas intelectuales y sociales de lo que fue el caso en muchas de las ciencias aplicadas, al mismo tiempo que puede dar lugar a una genuina investigación básica.

Transdisciplinaridad

El modo 2 hace algo más que conjuntar una gama diversa de especialistas para que trabajen en equipo sobre problemas, en un ambiente complejo orientado hacia las aplicaciones. Para que podamos calificarla como una forma específica de producción de conocimiento es esencial que la investigación sea guiada por un consenso especificable relativo a una práctica cognitiva y social apropiada. En el modo 2, el consenso se ve condicionado por el contexto de aplicación que evoluciona con él. Los determinantes de una solución potencial suponen la integración de diferentes habilidades en una estructura de acción, pero el consenso puede ser sólo temporal, dependiendo de lo bien que se adapte a las exigencias impuestas por el contexto específico de aplicación. En el modo 2, la configuración de la solución final estará normalmente más allá de cualquier disciplina individual que contribuya a la misma. Será por tanto transdisciplinar.

La transdisciplinaridad tiene cuatro características destacadas. Primera: desarrolla una estructura peculiar, pero en evolución, para guiar los esfuerzos tendentes a la solución de los problemas. Eso se genera y se mantiene en el contexto de aplicación y no se desarrolla primero para ser aplicado más tarde al contexto, por parte de un grupo diferente de practicantes. La solución no surge exclusivamente, o ni siquiera principalmente a partir de la aplicación del contexto que ya existe. Aunque en ella tienen que haber entrado elementos del conocimiento existente, aquí interviene una verdadera creatividad y el contexto teórico, una vez alcanzado, no se puede reducir fácilmente a partes disciplinares.

Segunda: como quiera que la solución abarca componentes tanto empíricos como teóricos, se trata, innegablemente, de una contribución al conocimiento, aunque no necesariamente al conocimiento disciplinar. A pesar de haber surgido a partir de un contexto particular de aplicación, el conocimiento transdisciplinar desarrolla sus propias estructuras teóricas singulares, métodos de investigación y modos de práctica, aunque no se hallen localizados en el mapa disciplinar prevaleciente. El esfuerzo es acumulativo, aunque la dirección de dicha acumulación puede desplazarse hacia una serie de direcciones diferentes una vez que se ha resuelto un gran problema.

Tercera: a diferencia del modo 1, en el que los resultados se comunican a través de los canales institucionales, en el modo 2 se comunican los resultados a aquellos que han participado en el curso de esa participación y, de ese modo, la difusión de los resultados se logra inicialmente, en cierto sentido, en el mismo proceso de su producción. La difusión posterior

se realiza principalmente en la medida en que los practicantes originales abordan nuevos contextos de problemas, antes que mediante la información de los resultados a través de revistas profesionales o en conferencias. Aunque los contextos del problema son transitorios y quienes los solucionan son muy móviles, las redes de comunicación tienden a persistir y el conocimiento contenido en ellas está disponible para entrar a formar parte de otras configuraciones.

Cuarta: la transdisciplinaridad es dinámica. Es capacidad de solución de problemas en movimiento. Una solución concreta puede convertirse en el lugar cognitivo desde el que efectuar avances posteriores, pero predecir dónde se utilizará este conocimiento y cómo se desarrollará es tan difícil como el determinar las posibles aplicaciones que puedan surgir de la investigación basada en la disciplina. El modo 2 se caracteriza especial pero no exclusivamente por la interacción cada vez más estrecha de la producción de conocimiento con una sucesión de contextos de problemas. Tal como sucede con los descubrimientos logrados en el modo 1, un descubrimiento puede basarse en otro, pero los descubrimientos realizados en el modo 2 se encuentran fuera de los confines de cualquier disciplina concreta y los practicantes no tienen por qué regresar a ella para encontrar convalidación de los mismos. Es posible que el nuevo conocimiento producido de esta forma no encaje fácilmente en ninguna de las disciplinas que contribuyeron a la solución. Tampoco será fácil referirlo a instituciones disciplinares concretas, o registrarlo como contribuciones disciplinares. En el modo 2 son cruciales las comunicaciones en configuraciones siempre nuevas. Los enlaces de comunicación se mantienen a través de canales parcialmente formales y parcialmente informales.

Heterogeneidad y diversidad organizativa

En el modo 2, la producción de conocimiento es heterogénea en términos de las habilidades y la experiencia que aporta la gente a la misma. La composición de un equipo dedicado a solucionar un problema cambia con el tiempo, y las exigencias evolucionan. Eso no está planificado ni coordinado por ningún cuerpo central. Como ocurre con el modo 1, surgen problemas desafiantes, si no al azar sí al menos de una forma que dificulta mucho su anticipación. En consecuencia, se caracteriza por:

1 Un aumento en el número de lugares potenciales en los que se puede crear el conocimiento; su producción ya no se hace sólo en las universidades y facultades, sino también en los institutos universi-

tarios, centros de investigación, instituciones gubernamentales, laboratorios empresariales, equipos de reflexión y asesorías, así como en su propia interacción.

2 La vinculación entre ellos en una variedad de formas (electrónica, organizativa, social e informalmente), a través de redes de comunicación en funcionamiento.

3 La diferenciación simultánea en estos lugares de campos y ámbitos de estudio en especialidades cada vez más refinadas. La recombinación y reconfiguración de estos subcampos forman las bases para las nuevas formas de conocimiento útil. Con el transcurso del tiempo, la producción de conocimiento se aleja cada vez más de la actividad disciplinar tradicional, para pasar a nuevos contextos sociales.

En el modo 2, la flexibilidad y el tiempo de respuesta son factores cruciales y, debido a ello, varían mucho los tipos de organizaciones utilizadas para afrontar los problemas. Han surgido nuevas formas de organización para adaptarse a la naturaleza cambiante y transitoria de los problemas abordados en el modo 2. Es característico del modo 2 que los grupos de investigación estén institucionalizados de forma menos firme; la gente se reúne en equipos y redes temporales de trabajo, que se disuelven una vez que el problema ha sido solucionado o redefinido. Los miembros pueden reunirse entonces en grupos diferentes, en los que intervienen personas diferentes, y lo hacen a menudo en lugares diferentes para abordar problemas igualmente distintos. La experiencia acumulada en este proceso crea una competencia que es muy valorada, y que se transfiere a nuevos contextos. Aunque los problemas sean transitorios y la vida de los grupos tenga una corta duración, persiste la pauta de organización y de comunicación como una matriz a partir de la cual se formarán otros grupos y redes, dedicados a solucionar problemas diferentes. Así pues, en el modo 2, el conocimiento se crea en una gran variedad de organizaciones e instituciones, incluidas las empresas multinacionales, las instituciones gubernamentales, las universidades de investigación, los laboratorios e institutos, así como los programas de investigación nacionales e internacionales. En tales ambientes, las pautas de financiación muestran una diversidad similar, ya que ésta se obtiene a partir de una variedad de organizaciones que muestran una gama muy diversa de exigencias y expectativas, lo que interviene, a su vez, en el contexto de aplicación.

Responsabilidad y reflexividad social

En años recientes, la creciente preocupación pública por temas relacionados con el medio ambiente, la salud, las comunicaciones, la intimidad y la procreación, etcétera, han tenido el efecto de estimular el crecimiento de la producción de conocimiento en el modo 2. La creciente conciencia sobre la variedad de formas mediante las que los avances en ciencia y tecnología pueden afectar al interés público, ha aumentado el número de grupos que desean influir sobre el resultado del proceso de investigación. Eso se ve reflejado a su vez en la variada composición de los equipos de investigación. Los científicos sociales trabajan junto con los científicos naturales, ingenieros, abogados y hombres de negocios porque así lo requiere la naturaleza del problema. La responsabilidad social impregna todo el proceso de producción de conocimiento. Se ve reflejada no sólo en la interpretación y difusión de los resultados, sino también en la difusión del problema y en la determinación de las prioridades de investigación. Un número creciente de grupos de interés y de los llamados «preocupados», están exigiendo una representación en la determinación de la agenda política, así como en el posterior proceso de toma de decisiones. En el modo 2, la sensibilidad hacia el impacto de la investigación está presente desde el principio. Forma parte del contexto de aplicación.

En contra de lo que cabría esperar, trabajar en el contexto de aplicación aumenta la sensibilidad de los científicos y tecnólogos ante las más amplias implicaciones de lo que están haciendo. Funcionar en el modo 2 hace que todos los participantes sean más reflexivos. Ello se debe a que el tema sobre el que se basa la investigación no se puede contestar sólo en términos científicos y técnicos. La investigación hacia la resolución de este tipo de problemas tiene que incorporar opciones para la aplicación de las soluciones, y éstas afectarán inevitablemente a los valores y preferencias de diferentes individuos y grupos a los que se ha considerado como tradicionalmente al margen del sistema científico y tecnológico. Ahora, en cambio, pueden convertirse en agentes activos en la definición y solución de problemas, así como en la evaluación del rendimiento. Eso se expresa parcialmente en términos de la necesidad de una mayor responsabilidad social, pero también significa que los propios individuos pueden funcionar con efectividad sin reflejar a todos los actores implicados, es decir, sin intentar funcionar desde el punto de vista de dichos actores. La profundidad de comprensión que eso aporta tiene a su vez un efecto sobre lo que se considera que vale la pena hacer y, en consecuen-

cia, sobre la estructura de la propia investigación. La reflexión sobre los valores implicados en las aspiraciones y proyectos humanos ha sido una preocupación tradicional de las humanidades. Al difundirse la reflexividad dentro del proceso de investigación, las humanidades también están experimentando un aumento en la demanda para la clase de conocimientos que tienen que ofrecer.

Tradicionalmente, esa ha sido la función de las humanidades pero, con el transcurso de los años, el lado de la oferta de tal reflexividad (departamentos de filosofía, antropología, historia) se ha desconectado del lado de la demanda, es decir, de los hombres de negocios, ingenieros, doctores, instituciones reguladoras y el público en general, que necesitan de guía práctica o ética sobre una vasta gama de temas (como, por ejemplo, las presiones sobre las humanidades tradicionales para crear escenarios culturalmente sensibles, y sobre los estudios de derecho para encontrar éticas fundamentadas empíricamente, la construcción de historias étnicas y el análisis de los temas de género).

Control de calidad

En el modo 2, los criterios para valorar la calidad del trabajo y de los equipos que llevan a cabo la investigación difieren de los aplicados en la ciencia disciplinar más tradicional. En el modo 1, la calidad viene determinada esencialmente por los juicios de revisión de los compañeros acerca de las contribuciones hechas por los individuos. El control se mantiene mediante una cuidadosa selección de quienes han sido juzgados como competentes para que actúen como iguales, lo que viene determinado en parte por sus contribuciones previas a su disciplina. Así pues, el proceso de revisión por parte de los iguales permite que la calidad y el control se refuercen mutuamente. Esto tiene dimensiones tanto cognitivas como sociales, en la medida en que existe un control profesional sobre qué problemas y técnicas se considera importante trabajar, así como en la determinación de quién está calificado para tratar de hallar su solución. En la ciencia disciplinar, la revisión por parte de los iguales funciona para canalizar a los individuos de forma que trabajen sobre problemas considerados como centrales para el progreso de la disciplina. Esos problemas se definen en buena medida en términos de criterios que reflejan los intereses intelectuales y las preocupaciones de la disciplina y de sus principales exponentes.

En el modo 2 se añaden criterios adicionales a través del contexto de aplicación, que incorpora ahora una gama diversa de intereses intelectuales, así como de otros intereses sociales, económicos o políticos. Al criterio de interés intelectual y su interacción se le añaden otras cuestiones, como por ejemplo: «Si se encuentra la solución, ¿será competitiva en el mercado?», «¿Será efectiva en cuanto al coste?», «¿Será socialmente aceptable?». La calidad viene determinada por un conjunto más amplio de criterios que refleja la amplia composición social del sistema de revisión. Eso implica que la «buena ciencia» es más difícil de determinar. Al no verse ya limitado estrictamente a los juicios de los miembros iguales de la disciplina, surge el temor de que el control sea más débil y el resultado tenga una calidad inferior. Aunque el proceso de control de calidad en el modo 2 tiene una base más amplia, de ello no se desprende que la intervención de una gama más amplia de expertos sobre el problema tenga como consecuencia necesaria el alcanzar una calidad inferior. Esta será, simplemente, de un tipo más compuesto y multidimensional.

La coherencia del modo 2

Estos atributos, aunque no están presentes en todos los casos de modo 2, cuando aparecen juntos tienen una coherencia que proporciona al modo de producción una estabilidad cognitiva y organizativa reconocible. De la misma forma que en el modo 1 las normas cognitivas y sociales se ajustan las unas a las otras y producen conocimiento disciplinar, en el modo 2 están emergiendo nuevas normas que son apropiadas para el conocimiento transdisciplinar. En toda clase de producción de conocimiento, la creatividad individual y colectiva se encuentra en una variada relación de tensión y equilibrio. En el modo 1, la creatividad individual se resalta como la fuerza impulsora del desarrollo, y el control de calidad funciona a través de las estructuras disciplinares organizadas para identificarla e intensificarla, mientras que el aspecto colectivo, incluidos los elementos de control, se oculta bajo la figura consensual de la comunidad científica. En el modo 2, la creatividad se pone principalmente de manifiesto como un fenómeno de grupo, en el que la contribución individual se halla aparentemente subsumida como parte del proceso, y el control de calidad se ejerce como un proceso socialmente ampliado que acomoda muchos intereses en un proceso de aplicación dado. De la misma forma que, en el modo 1, el conocimiento se acumuló a través de la profesionalización de la especialización, ampliamente institucionalizada en las universidades, el conocimiento se acumula en el modo 2 a través de repetidas configuraciones de recursos humanos, en formas de organización

flexibles y esencialmente transitorias. El circuito desde el contexto de aplicación, a través de la transdisciplinaridad, la heterogeneidad y la diversidad organizativa, se cierra mediante nuevas formas adaptativas y contextuales de control de calidad. El resultado es un modo de ciencia más socialmente responsable y reflexivo. De las ciencias biomédicas y medioambientales podrían extraerse numerosos ejemplos de este fenómeno.

Aunque los modos 1 y 2 son modos distintos de producción, interactúan el uno con el otro. Los especialistas formados en las ciencias disciplinares entran en la producción de conocimiento del modo 2. Aunque algunos pueden regresar a su base disciplinar original, otros elegirán seguir un sendero de resolución compleja de problemas que viene determinado por una secuencia de contextos de aplicación. Y, a la inversa, algunos resultados de la producción transdisciplinar de conocimiento, en particular cuando se trata de nuevos instrumentos, pueden entrar a formar parte de toda una serie de ciencias disciplinares y fertilizarlas. Debido a tales interacciones, puede surgir la tentación de reducir la nueva forma a otras más familiares, de tal suerte que el modo 2 se colapsa en el modo 1 y, en consecuencia, se minimiza la importancia de los cambios anteriormente perfilados. Aunque la producción de conocimiento del modo 2 interactúa con el modo 1, es diferente al de este. Términos utilizados de forma común, como investigación precompetitiva, investigación estratégica, investigación orientada hacia la realización de una misión, investigación aplicada o investigación y desarrollo industrial, siguen teniendo muchas de las preconcepciones sociales de la función de la ciencia disciplinar y, en particular, la idea de que la ciencia disciplinar proporciona el pozo inagotable para las aplicaciones futuras. La idea profundamente sostenida de que si las disciplinas no florecen se perderán percepciones fundamentales, o de que el conocimiento teórico fundacional no puede producirse y mantenerse fuera de las estructuras disciplinares, puede explicar la persistencia del modelo lineal de innovación en los debates de política. Y, sin embargo, sucede cada vez con mayor frecuencia, en las ciencias de los ordenadores, de los materiales, biomédicas y medioambientales, que las teorías se desarrollan en el contexto de aplicación, y que éstas continúan fecundando líneas de progreso intelectual que se hallan al margen de las estructuras disciplinares. En el modo 2, las cosas se hacen de modo diferente y cuando se han hecho suficientes cosas de modo diferente, está uno autorizado para decir que ha surgido una nueva forma.

No resulta difícil descubrir las razones por las que este nuevo modo

de producción ha surgido en la época presente. El modo 1 ha alcanzado un éxito destacado. Los científicos descubrieron hace tiempo que la forma más efectiva de alcanzar ese éxito consistía en hacerlo a través de un proceso de especialización en el ámbito cognitivo, de profesionalización en el ámbito social, y de institucionalización en el ámbito político. Esta pauta ha gobernado la difusión de la ciencia desde un ámbito de actividad a otro, y ha tendido a tratar duramente a quienes intentaron soslayar sus controles. La estructura disciplinar del conocimiento refleja el éxito de funcionamiento de esta pauta de control cognitivo y social. Pero, con el transcurso de los años, el número de graduados fundamentados en el ethos de la investigación, junto con una cierta habilidad especializada, ha sido demasiado grande como para quedar absorbido dentro de la estructura disciplinar. Algunos de ellos han pasado a los laboratorios gubernamentales, otros a la industria, mientras que otros han establecido sus propios laboratorios, equipos de reflexión y asesorías. Como consecuencia de ello, ha aumentado mucho el número de lugares donde se puede llevar a cabo una investigación competente. Esos lugares constituyen los recursos intelectuales para el modo 2 y sus apuntalamientos sociales. Visto desde otra perspectiva, cabría decir también que la creación de muchos lugares nuevos donde se practica la investigación competente es un resultado no intencionado del proceso de masificación de la educación y la investigación.

El desarrollo del transporte rápido, así como de las tecnologías de la información y la comunicación, han creado una capacidad que permite interactuar a estos lugares. El modo 2 depende críticamente de las emergentes tecnologías de los ordenadores y de las telecomunicaciones, y favorecerá a aquellos que se pueden permitir utilizarlas. Las interacciones entre estos lugares de conocimiento han preparado el escenario para que se produzca una explosión en el número de interconexiones y de las posibles configuraciones de conocimiento y habilidad. El resultado puede describirse como un sistema socialmente distribuido de producción de conocimiento. En este sistema, la comunicación se efectúa cada vez más a través de las fronteras institucionales existentes. El resultado es una red cuyos nódulos se extienden ahora por todo el globo y cuya conectividad crece a cada día que pasa. No es nada sorprendente que, cuando los científicos tradicionales empiezan a participar en este proceso, se les perciba como personas que debilitan la lealtad disciplinar y el control institucional. Pero los contextos de aplicación son a menudo los lugares donde se plantean problemas intelectuales desafiantes, y la implicación en el modo 2 permite el acceso a éstos y promete una estrecha colaboración con ex-

pertos que tienen una amplia variedad de historiales. Eso puede ser, para muchos, un ambiente de trabajo muy estimulante. El modo 2 no muestra ninguna inclinación particular por llegar a quedar institucionalizado en la pauta convencional. Cabe esperar que la estructura establecida de la ciencia se preocupe por esto, así como por cómo se asegurará el control de calidad en un sistema de producción socialmente distribuido del conocimiento, pero lo cierto es que actualmente ya se ha convertido en una realidad. El modo 2 es una respuesta a las necesidades tanto de la ciencia como de la sociedad. Es irreversible. El problema consiste en averiguar cómo comprenderlo y manejarlo.

Algunas implicaciones del modo 2

Uno de los objetivos de este libro es el de llamar la atención sobre la existencia de una serie de atributos asociados con la nueva forma de producción de conocimiento, y mostrar que tales atributos poseen coherencia suficiente como para que se les considere como un nuevo modo de producción. Argumentamos que, de la misma forma que el modo 1 se ha convertido en el modo de producción característico de la investigación disciplinar ampliamente institucionalizada en las universidades, el modo 2 se caracteriza por la transdisciplinaridad y se institucionaliza en un sistema socialmente distribuido que es más heterogéneo y flexible. Tras haber perfilado sus características principales, nos encontramos ahora en posición de considerar las implicaciones de este desarrollo.

La masificación de la educación superior después de la Segunda Guerra Mundial y la apropiación por parte de las universidades de una clara función investigadora, han producido un número creciente de personas que están familiarizadas con los métodos de investigación, muchas de las cuales se hallan equipadas con conocimientos y habilidades especializadas de diversos tipos. La masificación es ahora un fenómeno fuertemente atrincherado, tiene alcance internacional y no es probable que se pueda invertir. Por el lado de la oferta, el número de productores potenciales de conocimiento que surgen de la educación superior no hace sino aumentar, y continuará aumentando.

No obstante, esta expansión de la educación superior tiene una implicación que ha sido poco examinada hasta el momento. No sólo hay cada vez más personas familiarizadas con la ciencia y que son competentes en sus métodos, sino que muchas de ellas participan en actividades que tienen una dimensión investigadora. Han aportado sus conocimientos y habilidades a la resolución de una amplia gama de problemas, en contextos y situaciones que se hallan a menudo muy alejados de las universidades donde recibieron inicialmente su formación. La producción del conocimiento científico y tecnológico se trata de obtener no sólo en las universidades, sino también en los laboratorios de la industria y del gobierno, en equipos de reflexión, instituciones y asesorías de investigación, etcétera. La expansión de la educación superior a nivel internacional ha significado un aumento del número de lugares potenciales donde se lleva a cabo una investigación reconocible como competente. Esto conlleva la implicación, todavía no comprendida del todo, de que en la medida en que las universidades continúan produciendo graduados de calidad, socavan su monopolio como productoras de conocimiento. Muchos graduados han llegado a ser posteriormente los bastante competentes como para emitir juicios sobre la investigación realizada en la universidad, y pertenecen ahora a organizaciones que también pueden realizar ese trabajo. Las universidades empiezan a reconocer que ahora sólo son un tipo de jugador, por importante que sea, dentro de un proceso enormemente expandido de producción de conocimiento.

En paralelo con esta vasta expansión de la oferta, se ha producido la expansión de la demanda de conocimientos especializados de todas clases. Por lo que se refiere al conocimiento especializado, la interacción de la oferta y la demanda tiene numerosas características de un mercado, pero hay algunas diferencias cruciales. La función de un mercado consiste en equilibrar la oferta y la demanda, y establecer los términos del intercambio. Tradicionalmente, se entiende que los mercados establecen los precios en los que se encontrarán en equilibrio la oferta y la demanda de bienes concretos. Un mercado es un mecanismo de asignación de recursos (trabajo y capital) para la producción de bienes. Funciona con mayor efectividad en aquellos casos en los que ya existe una demanda claramente especificada, y para los que se dispone de factores de producción. Pero los mercados también tienen un componente dinámico. Pueden poner en circulación nuevos bienes para los que apenas existe una demanda o, a la inversa, pueden estimular la demanda de bienes cuyas características todavía no están claras. En los mercados dinámicos, la oferta y la demanda se articulan mutuamente entre sí.

El conocimiento juega un papel crucial en muchos mercados dinámicos. Es una fuente importante de ventaja comparativa creada, tanto para sus productores como para los usuarios de todas clases, y no sólo en la industria. En algunos de estos mercados los términos comerciales son más complejos de lo que puede venir indicado por niveles comparativos

de costes y precios, y el medio de intercambio puede ser más sutil que el dinero. Por ejemplo, en aquellos mercados que articulan la oferta y la demanda para el conocimiento sobre el medio ambiente, existen muchas clases diferentes de intercambios entre numerosos participantes, pero el medio es una mezcla más compleja de valores individuales y sociales de lo que podría captarse por sí solo mediante los valores monetarios. Como quiera que la ventaja comparativa no se puede reducir a criterios económicos, tales mercados podrían describirse más bien como mercados sociales antes que como económicos, pero no por ello dejan de ser mercados. Dentro de ellos, las fuentes de la demanda son múltiples. Proceden de la sociedad, en forma de investigaciones públicas de diversos tipos, de los gobiernos en relación con una amplia gama de temas, como por ejemplo las consecuencias adversas de las tecnologías de alto riesgo, y también de todo un espectro de instituciones, grupos de interés e individuos que necesitan saber más sobre cuestiones concretas. Este conjunto complejo de actores forman foros híbridos que proporcionan estímulos tanto a la oferta como a la demanda del conocimiento especializado. En esos forums se genera tanto el conocimiento teórico como el práctico.

Son ampliamente apreciadas las exigencias de conocimiento planteadas por la industria y en especial por los resultados de la investigación científica y tecnológica. Pero lo que quizá se comprende menos es la expansión de la demanda de un flujo de conocimientos especializados entre las empresas. El conocimiento especializado es a menudo un factor clave para la determinación de la ventaja comparativa de una empresa. A medida que aumentan las presiones de la competencia internacional, las empresas han tratado de afrontar los desafíos planteados por la introducción de las nuevas tecnologías. La nueva tecnología es una condición necesaria, pero no suficiente, para el éxito del rendimiento innovador, y la innovación tecnológica depende cada vez más de la utilización de conocimientos especializados capaces de desarrollar tecnologías que vayan en las direcciones dictadas por las presiones competitivas. El conocimiento especializado se utiliza en parte porque aporta una fuente constantemente renovable de ventaja comparativa creada, y en parte porque puede ser difícil de imitar, sobre todo cuando se trata de empresas cuya cultura nacional no apoya todavía una infraestructura científica y tecnológica bien articulada. Así pues, para las empresas que representan en muchos sectores la punta de lanza de la competencia internacional, el conocimiento especializado constituye un valor añadido, pero su adquisición resulta difícil y a menudo es demasiado cara como para que las empresas individuales puedan replicarla por entero en sus instalaciones. Para satisfacer esta exi-

encia, las empresas se han enzarzado en una compleja variedad de disosiciones de colaboración en las que intervienen las universidades, los obiernos y otras empresas, pertenecientes a veces incluso al mismo sector. En cada uno de los casos, la oferta y la demanda se ven mediatizadas or un mecanismo de mercado pero, una vez más, este no es o no necesia ser estrictamente comercial.

En estos mercados, el conocimiento en sí se puede buscar continuanente, pero sucede con frecuencia que no está disponible, no se puede omprar o vender o retirar de la estantería, como otros bienes. Se genera ada vez más en el nexo del mercado mismo. Al producir conocimiento specializado, los mercados funcionan para configurar recursos humanos físicos en un contexto de aplicación concreto. Como consecuencia de la ntensificación de la competencia, el número de tales contextos se expanle, pero los contextos son también transitorios. Los mercados son dinánicos. Establecen nuevos problemas de forma más o menos continua y, or lo tanto, continúa el avance de la producción de conocimiento y sus edes de comunicación asociadas. El conocimiento se produce mediante la configuración del capital humano. No obstante, y a diferencia del capital físico, el capital humano es potencialmente más maleable. Los recursos humanos se pueden configurar una y otra vez para generar nuevas formas de conocimiento especializado. La capacidad para hacerlo así se encuentra en el núcleo de muchas economías de alcance, consideradas actualmente como cruciales para la supervivencia en el mercado.

El núcleo de nuestra tesis es que la expansión paralela en el número de productores potenciales de conocimiento por el lado de la oferta, y la expansión de la exigencia de conocimiento especializado por el lado de la demanda, está creando las condiciones para el surgimiento de un nuevo modo de producción de conocimiento. El nuevo modo tiene implicaciones que afectan a todas las instituciones, ya se trate de universidades, instituciones gubernamentales de investigación o laboratorios industriales que han invertido en la producción de conocimiento. El surgimiento de mercados para el conocimiento especializado significa que el juego está cambiando para cada conjunto de instituciones, aunque no lo haga necesariamente de la misma forma o a la misma velocidad. No existe imperativo alguno para que todas las instituciones adopten las normas y valores del nuevo modo de producción de conocimiento. Algunas empresas y universidades ya han recorrido un largo trecho en el camino del cambio, lo que se manifiesta en los tipos de personal que contratan y en la compleja gama de acuerdos de colaboración en los que participan. No obstante, para alcanzar los objetivos institucionales, se tendrán que modifi-

car las reglas que gobiernan el desarrollo profesional y los determinantes sociales y técnicos de la competencia para que se pueda establecer finalmente el nuevo modo de producción.

El nuevo modo, es decir, el 2, emerge junto a la estructura disciplinar tradicional de la ciencia y la tecnología, es decir, del modo 1. De hecho, se trata de un vástago del mismo. Para dejar claro lo que implica el nuevo modo de producción, se han contrastado los atributos del modo 2 con los del modo 1. A partir de este análisis quedará claro que el modo 2 no suplanta, sino que más bien complementa el modo 1. El modo 2 es característico, y tiene su propio conjunto de normas cognitivas y sociales. Algunas de ellas contrastan nítidamente con las convicciones profundamente mantenidas acerca de cómo se debería generar el conocimiento teórico y práctico fiable, pero no por esa razón se las debería considerar como superiores o inferiores a las que funcionan en el modo 1. Son, simplemente, diferentes. Hasta cierto punto, sin embargo, la forma en que el modo 2 quede establecido en un contexto concreto, vendrá determinada por el grado en que las instituciones del modo 1 deseen adaptarse a la nueva situación.

El surgimiento de un sistema de producción de conocimiento socialmente distribuido significa que este tipo de conocimiento viene suministrado y distribuido a un tiempo a los individuos y grupos a través del espectro social. Se tiende a soslayar las comunicaciones a nivel institucional debido a la necesidad de encontrar respuestas rápidas y flexibles ante los problemas. Aunque cabe esperar variedad en la medida en que el modo 2 llegue a ser dominante, ésta se hallará en relación con el sistema de producción de conocimiento socialmente distribuido que está emergiendo ahora. El modo 2 puede funcionar en la medida en que las instituciones sean permeables. El grado en el que las actuales instituciones de producción de conocimiento sean más permeables, no alterará el hecho fundamental de que la producción de conocimiento está siendo más ampliamente distribuida; es decir, tiene lugar en muchos más tipos de escenarios sociales que antes, ya no está concentrada en relativamente unas pocas instituciones, y supone la participación de muchos tipos diferentes de individuos y organizaciones en una vasta gama de relaciones diferentes. Tal comportamiento hará que se establezcan otros vínculos que, al final, pueden dejarlos científica y técnicamente aislados con respecto a algunos desarrollos intelectuales.

La producción de conocimiento socialmente distribuido tiende hacia la creación de una red global cuyo número de interconexiones se expande continuamente mediante la creación de nuevos lugares de producción.

Como consecuencia de ello, las comunicaciones son cruciales en el modo 2. En la actualidad, eso se mantiene en parte a través de acuerdos formales de colaboración y de alianzas estratégicas, y en parte a través de redes informales apoyadas por el transporte rápido y por las comunicaciones electrónicas. Pero eso no es más que la punta del iceberg. Para funcionar, el nuevo modo necesita verse apoyado por las últimas novedades que pueden ofrecer las telecomunicaciones y las tecnologías de los ordenadores. El modo 2, pues, es tanto una causa como un consumidor de innovaciones capaces de intensificar el flujo y la transformación de la información.

Uno de los imperativos del modo 2 es que la explotación del conocimiento exige participación en su generación. En la producción de conocimiento socialmente distribuido, la organización de esa participación se convierte en el factor crucial. Los objetivos de participación ya no son simplemente el asegurar alguna ventaja nacional, comercial o de otro tipo. De hecho, la misma noción de qué constituye un beneficio económico, y para quién, se encuentra en la raíz misma de muchos debates, no sólo en las ciencias medioambientales, sino también en la biotecnología y las ciencias médicas. Por ejemplo, el empuje que reciben actualmente las llamadas tecnologías «limpias» se halla relacionado con algo más que el simple beneficio económico. También se refiere a la estabilización de sistemas ecológicos que se colapsan, a la salud y al bienestar de poblaciones enteras, así como a ganancias comerciales. Esto quiere decir que aun cuando el modo 2 viene ejemplificado en este libro sólo en relación con la producción de conocimiento, tiene efectos coevolutivos en otros ámbitos, como por ejemplo en la economía, la división actual del trabajo y el sentido de comunidad.

La aparición del modo 2 está creando nuevos desafíos para los gobiernos. Las instituciones nacionales necesitan ser descentralizadas (para hacerse más permeables), y los gobiernos pueden promover con sus políticas un cambio en esta dirección. Esas políticas serán más efectivas si, al mismo tiempo, se convierten en agentes más proactivos en un juego de producción de conocimiento que incluye, además de los intereses y ambiciones de otras naciones, las políticas de las instituciones supranacionales, como la de la Unión Europea (UE). La efectividad de las capacidades de actuación de los gobiernos subraya ahora la competitividad de sus sistemas nacionales de innovación. Eso se verá reflejado tanto en su habilidad para participar en la producción de conocimiento que pueda tener lugar en cualquier parte del mundo, como también en su ingenio para apropiarse de ese conocimiento e incluirlo en su sistema de innovación.

Se necesita ingenio porque, tarde o temprano, la colaboración se transformará en competencia. Eso forma parte de la naturaleza del proceso de creación de riqueza, tal y como está constituido actualmente. Controlar la interacción entre competencia y colaboración ya será una tarea bastante difícil. Gestionarla en beneficio nacional es un desafío que, si los gobiernos lo descuidan, lo harán otros a su propia costa. Lo mismo que sucede con los científicos y tecnólogos, los gobiernos también necesitan aprender a funcionar en el contexto de aplicación, y eso afecta cada vez más a las instituciones supranacionales. Estas tienen dimensiones políticas, sociales y económicas, como en el caso de la UE en Europa occidental, pero objetivos más estrechamente económicos en los casos del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (NAFTA) y del Tratado General sobre Tarifas Aduaneras y Comercio (GATT). Las cuestiones clave a determinar son si las instituciones supranacionales pueden ayudar en este proceso y cómo deberían posicionarse las naciones en relación con estos sistemas más grandes.

Quizá sea irónico que quede en manos del gobierno la tarea de trazar orificios en las mismas instituciones que se establecieron en otros tiempos para mantener su capacidad científica y tecnológica. Pero, además de sobre otras muchas nociones aparentemente fijas, se tiene que volver a reflexionar sobre el propósito y la función de estas instituciones a la luz del surgimiento del modo 2. Esto revelará la necesidad de abordar la política con un nuevo enfoque, particularmente por lo que se refiere a la integración de la educación, la ciencia, la tecnología y la política de competencia, para constituir una política de innovación global que sea sensible al hecho de que la producción de conocimiento está socialmente distribuida. En Europa, en particular, se tienen que desarrollar políticas nacionales que intensifiquen el potencial de las instituciones nacionales, y hacerlo de una forma concertada con las de la UE. Los países en vías de desarrollo necesitan tomar buena nota de ello. Para muchos de ellos, el acceso seguirá siendo un problema no sólo porque les falta la capacidad, sino también porque sus gobiernos todavía modelan sus instituciones científicas y tecnológicas de acuerdo con suposiciones que ya no se aplican a las clases de actividades científicas y tecnológicas de las que dependen sus aspiraciones.

1. Evolución de la producción de conocimiento

Resumen

En este capítulo empezamos por definir las características distintivas del modo 1 y del modo 2 de producción de conocimiento, resaltando que este último ha evolucionado a partir de la matriz disciplinar del primero, y que continúa existiendo junto a aquel. El nuevo modo de producción de conocimiento supone la existencia de diferentes mecanismos de generar conocimiento y de comunicarlo, más actores procedentes de disciplinas diferentes y con historiales distintos, pero, por encima de todo, lugares diferentes donde se produce el conocimiento. Los problemas, proyectos o programas sobre los que se centra temporalmente la atención de los practicantes, constituyen los nuevos lugares de producción de conocimiento, que avanzan y tienen lugar más directamente en el contexto de aplicación o uso. No hay presión para institucionalizar estas actividades de una forma permanente, o para que los participantes se instalen permanentemente en un nuevo lugar institucional. Como consecuencia de ello, esta forma dispersa y transitoria de producción de conocimiento conduce a resultados que están también altamente contextualizados. Debido a su transdisciplinaridad inherente, incrementan mucho la difusión posterior y la producción de nuevo conocimiento a través de técnicas, instrumentación y del conocimiento tácito que avanza hacia nuevos contextos de aplicación y uso.

Uno de los rasgos característicos del modo 2 es su transdisciplinaridad. Otro es lo que denominamos su distribución social, es decir, la difusión sobre una amplia gama de lugares potenciales para la producción de conocimiento y de diferentes contextos de aplicación o uso. Pero la naturaleza socialmente distribuida del modo 2 de producción de conocimiento se halla personificada, sobre todo, en las personas y en los modos en que éstas interactúan en formas socialmente organizadas. De ahí el énfasis que se pone en los componentes tácitos del conocimiento que, en nuestra opinión, asumen precedencia sobre los componentes codificados. Aunque esto nos acer-

ca gradualmente a cómo se organiza la producción de conocimiento en las culturas académicas y en las empresas, la estrategia empresarial aplicada a la organización de su dimensión tecnológica específica adquiere mucha mayor importancia en la elección de la configuración de su diseño.

Una consecuencia crucial resultante del cambio en la producción de conocimiento del modo 1 al modo 2, es que tiene efectos sobre el control de calidad. Sus mecanismos y los criterios sobre los que se basa están destinados a afectar también a un ámbito mucho más amplio y diferenciado, junto con una dimensión institucional y cognitiva-organizativa inherente a los mecanismos de control de calidad. Afirmamos, en general, que el control de calidad también se hace más dependiente del contexto y del uso. En un espacio institucional más disperso, el control de calidad también adopta formas más transitorias y temporales y normas más fluidas. Pero, por encima de todo, el éxito viene definido de forma diferente en el modo 2. Incluye criterios adicionales a los tradicionales de excelencia científica, tales como eficiencia o utilidad, definidos en términos de las contribuciones que ha aportado el trabajo a la solución general de problemas transdisciplinares. En otras palabras, habrá que tener en cuenta el ambiente de la investigación, ya estructurado por la aplicación o uso, dejando espacio para criterios múltiples, no sólo en general, sino también en relación con expectativas y resultados específicos.

Con objeto de comprender mejor la dinámica de la producción de conocimiento del modo 2, trazamos una distinción entre crecimiento homogéneo y heterogéneo. Por crecimiento heterogéneo nos referimos a un proceso de diferenciación y difusión a través del cual tiene lugar el reacondicionamiento de elementos componentes dentro de un proceso dado o de un conjunto concreto de actividades. Concebimos el proceso del crecimiento heterogéneo dentro de una estructura conceptual que denominamos el modelo de densidad creciente de la comunicación. Mantenemos que los orígenes del magnífico crecimiento heterogéneo mostrado por los sistemas de la ciencia y la tecnología, pueden localizarse sobre tres niveles de comunicación: la comunicación entre ciencia y sociedad, la comunicación entre los practicantes científicos y, en términos metafóricos, la comunicación con las entidades del mundo físico y social. La densidad de comunicación ha aumentado de una forma espectacular sobre estos tres niveles, así como a través de sus interconexiones, junto con la heterogeneidad inserta en ellos, proporcionando así un poderoso elemento de predicción para un posterior crecimiento heterogéneo y para su distribución social.

Finalmente, llamamos la atención sobre algunas características específicas de las actividades innovadoras en ciencia y tecnología, que se sitúan bajo el despliegue de producción del modo 2. Se basan en la recuperación del interés por estructuras ordenadas y específicas, antes que en la búsqueda de los primeros principios y del papel distribuidor concomitante que juegan las técnicas y la instrumentación, las habilidades prácticas y el conocimiento tácito. La segunda característica es la innovación basada en el conocimiento y en la práctica a través del diseño. La intención aquí consiste en utilizar la mejorada comprensión de las estructuras ordenadas específicas para construir, manipular y controlar su funcionamiento en condiciones específicas y, quizá, lo que es aún más importante, para funciones y propósitos específicos. La tercera característica que contribuye a la innovación, bajo las condiciones del modo 2, es el papel que están jugando los ordenadores y, especialmente, el modelo computacional, que abren el camino al desarrollo tanto de rutinas que son independientes de aplicaciones particulares y que, por tanto, se pueden utilizar para satisfacer una amplia variedad de usos, como para la construcción de técnicas e instrumentos más sofisticados que intensificarán el principio de diseño y su gama de aplicación.

La producción de conocimiento está avanzando hacia una nueva fase. Funciona de acuerdo con los nuevos imperativos en tensión con la forma tradicional de hacer las cosas, con implicaciones de largo alcance. Estos cambios se describen en este libro en términos de un desplazamiento del énfasis del modo 1 al modo 2. En la introducción ya se han descrito sintéticamente los atributos principales del modo 2. El modo 1 se basa en la disciplina y conlleva una distinción entre lo que es fundamental y lo que es aplicado; eso implica a su vez una distinción operativa entre un núcleo teórico y otros ámbitos de conocimiento, tales como las ciencias de la ingeniería, en las que las comprensiones teóricas se traducen en aplicaciones. En contraste con ello, la producción de conocimiento en el modo 2 es transdisciplinar. Se caracteriza por un flujo constante, de un lado a otro, entre lo fundamental y lo aplicado, entre lo teórico y lo práctico. Típicamente, el descubrimiento se produce en contextos en los que el conocimiento se desarrolla para ser utilizado, y así se hace, mientras que los resultados (que habrían sido tradicionalmente caracterizados como aplicados) alimentan nuevos progresos teóricos. El descubrimiento en el contexto de aplicación, en el caso del avión hipersónico, viene ilustrado en el recuadro 1.1. El modo 2 se caracteriza por un alejamiento de la búsqueda de principios fundamentales, para avanzar hacia modos de investigación orientados hacia resultados contextualizados. Además, el propio proceso experimental viene guiado cada vez más por los principios de diseño, originalmente desarrollados en el contexto industrial. Empieza a ser posible invertir los procedimientos convencionales para fabricar ciertas sustancias, como las moléculas, los productos químicos y los materiales. Algunos materiales, por ejemplo, se pueden construir ahora átomo a átomo, o

molécula a molécula, mediante diseño, con objeto de obtener así un producto que tenga propiedades previamente especificadas. El producto y el proceso mediante el que se fabrican los nuevos materiales quedan integrados en el proceso de diseño, lo que supone una más estrecha integración del proceso de descubrimiento con el de fabricación. El modo 2 crea, pues, un ambiente novedoso en el que el conocimiento fluye más fácilmente a través de las fronteras disciplinares, en el que los recursos humanos son más móviles y la organización de la investigación es más abierta y flexible.

RECUADRO 1.1

Descubrimiento en el contexto de aplicación: el caso del avión hipersónico

Algunos programas de investigación, aunque orientados industrialmente, pueden abordar cuestiones científicas y tecnológicas situadas más allá de las fronteras actuales del conocimiento, sugiriendo así nuevos problemas y configurando nuevas agendas de investigación. Esta situación queda bien ilustrada en la búsqueda de un avión hipersónico viable, emprendida ahora por muchas naciones.

Los científicos han contemplado desde hace tiempo la construcción de un avión capaz de alcanzar velocidades de satélite, de despegar como un avión regular y regresar a la tierra una vez realizada su misión. El éxito de este proyecto depende de solucionar el problema de la propulsión generada por motores aeróbicos, que utilizan aire como comburente en lugar de una masa de oxígeno.

No obstante, a velocidades hipersónicas superiores a Mach 6, se hace necesaria la combustión supersónica, lo que exige la difícil mezcla de principios aeróbicos con la velocidad hipersónica en el perfeccionamiento de un chorro supersónico. Se cree que la producción de un nuevo vehículo requiere un cambio en el paradigma tecnológico. Existe la creencia de que los sistemas de propulsión aeróbicos convencionales no pueden funcionar a velocidades hipersónicas. El cambio paradigmático supone discontinuidades, tanto científicas como tecnológicas. Los dos apoyos tradicionales para la elaboración de nuevos conceptos tecnológicos, la ciencia y la experiencia de diseño de generaciones tecnológicas anteriores (el chorro supersónico en este caso), sólo pueden proporcionar una cierta guía limitada. En el caso de las tecnologías hipersónicas,

el estado actual de la ciencia no permite todavía el desarrollo de modelos predictivos y, en consecuencia, tiene una utilidad limitada para la elaboración de diseños y para la innovación.

Falta de dirección por parte de la ciencia existente. En el caso de la combustión a Mach 5 a 6, la primera barrera para la investigación es la casi imposibilidad de producir experimentalmente, en tierra, los datos necesarios para predecir el rendimiento del concepto de chorro supersónico. No existen instalaciones capaces de reproducir la combinación de velocidades, presiones y temperaturas necesaria para simular el vuelo hipersónico. El experimento en el túnel aerodinámico sólo puede ser de corta duración, de unos pocos segundos. Esta debilidad se ve superada parcialmente por medio de métodos matemáticos de simulación. Aquí, sin embargo, también existen dificultades inmensas. La solución de las ecuaciones de combustión supersónica exigiría períodos de cálculo muy prolongados. En consecuencia, las simulaciones se basan en aproximaciones significativas. Otro problema crucial es la ausencia de una ley predictiva de la turbulencia. Finalmente, las simulaciones no eliminan por completo la necesidad de efectuar pruebas con vehículos reales. A pesar de todo, los cálculos pueden reducir la cantidad de trabajo experimental necesario. Permiten a los investigadores limitar, por ejemplo, las pruebas en el túnel aerodinámico a aquellos aspectos precisos en los que las simulaciones sean demasiado difíciles o no aporten resultados lo bastante precisos. En último análisis, la dificultad actual de asegurar la sinergia entre los cálculos y las pruebas reales revela que la ciencia se halla lejos de poder proporcionar modelos predictivos para la innovación y el diseño analítico.

Discontinuidades con la experiencia previa. Otro problema se pone de manifiesto en los resultados obtenidos en el umbral del Mach 5, ya que muchos de esos resultados ya no son válidos más allá del Mach 5. Ciertas leyes físico-químicas llegan a invertirse una vez que se pasa del dominio supersónico al hipersónico. Se necesita desarrollar conceptos diferentes para los diferentes regímenes de velocidad. Se produce por lo tanto una discontinuidad entre los dominios supersónico e hipersónico que impide el desarrollo evolutivo basado en inversiones adicionales modestas en capital humano y físico. Además, los vínculos analógicos entre la propulsión aeróbica y la propulsión por cohete son relativamente insignificantes. No permiten más que una pequeña probabilidad de transferir conocimiento de un dominio al otro.

En esta situación de incertidumbre, la necesidad primordial es la de obtener información sobre la misma estructura del problema en cuestión, así como la de superar una ausencia crítica de datos científicos necesarios para las operaciones de medición, comprobación, control y ensayo. Para

ello se necesitan nuevos instrumentos, técnicas y conocimientos. Actualmente, muchos de los programas de investigación hipersónica se hallan orientados hacia la producción de tal base instrumental.

La cuestión que nos interesa aquí es que esta fase de investigación precede a la investigación básica y aplicada, y contiene una fuerte dimensión tecnológica. La formulación de esta misma agenda de investigación no puede comprenderse sin prestar atención a desarrollos previos en el ámbito de la tecnología, y particularmente de la tecnología de la instrumentación. Esto estructurará a su vez el contexto de aplicación y planteará futuros problemas a los científicos e ingenieros con historiales muy diversos.

Fuente: Foray y Conesa (1993)

El modo 2 se está extendiendo a través de todo el paisaje de la ciencia y la tecnología. Se abre un vasto campo de interconexiones gracias a la proliferación de lugares situados al margen de las estructuras disciplinares y de las instituciones en los que tiene lugar una investigación reconociblemente competente, normales desarrolladas desde finales del siglo XIX. A medida que se multiplican las interacciones, el estatus epistemológico del conocimiento así producido no sigue criterios tradicionales, es decir, disciplinares. En el modo 1, cualquier conocimiento se ve convalidado por la sanción de una comunidad claramente definida de especialistas. En el modo 2, transdisciplinar, o bien brillan por su ausencia tales estructuras legitimadoras, o éstas son disfuncionales. La investigación transdisciplinar también necesita algunos procedimientos de legitimación, pero éstos son diferentes porque se aplican criterios diferentes a lo que se considera como buena investigación. Además, con la ampliación y el carácter relativamente transitorio de las comunidades de practicantes, la valoración del conocimiento implicado ocurrirá a través de una contextualización social mucho más fuerte.

La ciencia no se encuentra al margen de la sociedad, dispensando sus dones de conocimiento y sabiduría; tampoco es un enclave autónomo que se vea aplastado ahora por el peso de estrechos intereses comerciales o políticos. Antes al contrario, la ciencia siempre ha configurado y ha sido configurada a su vez por la sociedad, en un proceso que es tan complejo como abigarrado; no es estática, sino dinámica. La gama de posibles problemas que pueden ser abordados por la ciencia es indefinidamente enorme y, por lo tanto, la agenda de la investigación no puede comprenderse en términos puramente intelectuales.

La ciencia posee una estructura interna abigarrada, compuesta por un vasto número de comunidades o especializaciones, cada una de ellas dotada de formas características de práctica y de modos específicos de comunicación interna y externa. De hecho, las actividades que abarca la empresa científica son tan diversas, que quizá sea equívoco agruparlas bajo una etiqueta común. La ciencia contemporánea parece hallarse en un estado de flujo más o menos continuo, en una situación de turbulencia que contrasta intensamente con la percepción que se tiene de ella como una empresa socialmente autónoma, con instituciones estables, estructuras disciplinares bien delineadas y llevada a cabo por practicantes ligeramente remotos.

En la investigación disciplinar del modo 1 se utiliza el término paradigma para denotar el consenso provisional entre un conjunto relevante de practicantes. Es el resultado de un modo particular de organización e indica una forma de ver las cosas, de definir y dar prioridad a ciertos conjuntos de problemas. Muchos científicos trabajan en las universidades, dentro de la estructura de una especialización particular, e imparten enseñanza regularmente dentro de una estructura disciplinar. No obstante, dentro de ese mundo aparentemente cómodo, han tenido que desarrollar una amplia gama de estrategias para sobrevivir. Las estrategias de investigación personal se han hecho necesarias porque la empresa científica ha crecido hasta alcanzar tales proporciones, que los recursos se tienen que asignar a quienes demuestren una creatividad continua. Los investigadores más astutos, al tratar de equilibrar su necesidad de equipo y personal con la de trabajar dentro de una estructura paradigmática dada, construyen sus carreras alrededor de una amplia base de financiación para la investigación. Trabajan sobre problemas que son intelectualmente desafiantes y lo bastante interesantes como para captar la atención de aquellos otros de igual rango que han destacado, así como de las instituciones de financiación, y procuran establecer sus ideas particulares, teorías y métodos como paradigmáticos, es decir, como la forma de hacer las cosas. En contraste con ellos, los científicos que se niegan a adoptar un enfoque estratégico para sus carreras, se enfrentan con la perspectiva de quedarse atrás, en la medida en que los consejos de investigación, las fundaciones y hasta las universidades ajustan sus recursos a nuevos horizontes. Tales científicos se encuentran crónicamente con una escasez de fondos para la investigación, se hacen relativamente improductivos y, al final, terminan siendo juzgados por sus iguales como personas que tienen un rendimiento mediocre. En esta situación, la habilidad para obtener fondos se convierte, en sí misma, en un indicador de éxito.

Al adoptar un enfoque estratégico con respecto a sus carreras, muchos científicos se han convertido en verdaderos empresarios, y han tenido que flexibilizar sus afiliaciones disciplinares, al tiempo que contribuyen a la difuminación de las fronteras de la materia en la que son especialistas. Los científicos se han dado cuenta desde hace tiempo de que no existe razón intrínseca alguna por la que las estrategias de financiación de los gobiernos, las empresas o las fundaciones deba adaptarse a la actual estructura interna y cognitiva de su disciplina. Con el transcurso de los años han aprendido a ejercer un gran ingenio a la hora de traducir sus propios intereses investigadores en el lenguaje apropiado para otras agendas. Eso ha generado una conciencia de los problemas existentes más allá de las preocupaciones inmediatas de las especialidades concretas. Trabajar en un contexto problemático tiende a permitir que se aprecie mejor la importancia de la transdisciplinaridad, y también suaviza las distinciones entre ciencia pura y aplicada, entre lo que es una investigación orientada por la curiosidad y lo que es una investigación orientada por el cumplimiento de una misión. La búsqueda constante de fondos ha incrementado indirectamente la permeabilidad del conocimiento. El mantenimiento de los modos establecidos de producción de conocimiento se ve debilitado en la medida en que los imperativos de un contexto problemático exigen cooperación o trabajar conjuntamente con otros practicantes, ya sea en laboratorios industriales, gubernamentales o universitarios, a nivel nacional o global. En resumen, buena parte del impulso tendente hacia un cambio de producción de conocimiento propio del modo 2, ha sido endógeno para la práctica del modo 1.

Todos estos cambios se ven reflejados en el ethos de los campos más nuevos. El desarrollo de la ciencia ha alcanzado ahora una fase en la que muchos científicos han perdido interés por la búsqueda de los primeros principios. Están convencidos de que el mundo natural es una entidad demasiado compleja como para caer bajo una descripción unitaria que sea global y útil al mismo tiempo, en el sentido de que sea capaz de guiar la investigación posterior. En campos como la ingeniería genética y la biotecnología, la teoría de la información y la tecnología de la información, la inteligencia artificial, la microelectrónica o los materiales avanzados, los investigadores no se preocupan por los principios básicos del mundo, sino por las estructuras ordenadas y específicas que existen dentro de él (Barnes, 1985). El enorme aumento actual del interés por las aplicaciones sólo es parte de un reflejo de la persistencia de los intereses comerciales y militares en la ciencia y la tecnología. Igualmente importante ha sido el cambio de interés ocurrido en la ciencia hacia la comprensión de los sistemas y procesos concretos. Eso se ve reflejado en el cambio de énfasis desde el modo 1 al modo 2.

Aunque hasta el momento hemos hablado principalmente de ciencia, la tendencia antes descrita no se observa menos en la tecnología. De hecho, la distinción entre ambos se está haciendo más que cuestionable en muchos aspectos. La idea de que la tecnología es también una forma de conocimiento viene oscurecida por la tangibilidad de sus artefactos. Los artefactos son el resultado de un proceso de transformación en el que la energía y la materia que tienen una forma se ven transformadas en energía y materia que tienen otra forma, a menudo con alguna dimensión de mejores características de rendimiento. El objetivo de la generación de tecnología es el de mejorar el rendimiento al reacondicionar los elementos existentes. Aunque estamos familiarizados con los resultados de diversos procesos de transformación, estos artefactos ocultan a menudo sus constituyentes más básicos.

Concentrarse en la tecnología como artefacto significa mantener firmemente cerrada la tapa de la «caja negra» en la que tiene lugar el proceso de transformación. Sólo abriendo esa caja negra se puede desvelar la dimensión cognitiva de la tecnología. Se destacan entonces ciertos aspectos comunes en las formas en que se produce el conocimiento científico y tecnológico, y se clarifica el proceso mediante el que la ciencia, la tecnología y la industria entran en un contacto más estrecho.

La tecnología como una forma de conocimiento muestra algunos de los rasgos de la estructura paradigmática de la ciencia disciplinar. El conocimiento tecnológico es una mezcla de componentes codificados y tácitos. El conocimiento codificado no necesita ser exclusivamente teórico, pero sí requiere ser lo bastante sistemático como para que se lo pueda escribir y almacenar, ya sea en una base de datos computarizada, en una biblioteca universitaria o en un informe de investigación. Como tal, se halla disponible para cualquiera que sepa dónde buscar. En contraste con ello, el conocimiento tácito no está disponible como un texto y podemos considerar convenientemente que reside en las cabezas de aquellos que trabajan sobre un proceso de transformación concreto, o que se halla personificado en un contexto organizativo concreto. La distinción entre conocimiento codificado y tácito puede complementarse mediante una distinción paralela entre conocimiento migratorio e incrustado. El primero es móvil y puede desplazarse rápidamente a través de las fronteras organizativas, mientras que el segundo lo es menos porque su movimiento se ve limitado a una red dada o conjunto de relaciones sociales. Aunque algún conocimiento tecnológico es codificado y migratorio, la mayor parte del mis-

mo es tácito e incrustado y, por esa razón, no se halla disponible, en general. Tiende a moverse entre y con los individuos a medida que éstos pasan de un problema a otro, y de un contexto organizativo a otro. El conocimiento tácito se aprende en el trabajo, a través de la formación y la experiencia. En el conocimiento tecnológico, el componente tácito puede ser mayor que el codificado, aunque es posible que, en un contexto concreto, sea difícil determinar la importancia relativa de ambos.

El conocimiento tecnológico es el resultado de las decisiones y acciones tomadas por las comunidades de practicantes. Al igual que sucede en la ciencia, estas comunidades identifican problemas significativos, desarrollan métodos para abordarlos, aportan soluciones modélicas para gestionar los rompecabezas cotidianos que surgen de seguir los procedimientos paradigmáticos.

Las aplicaciones comerciales no suelen desarrollarse en las universidades y los laboratorios gubernamentales, sino en las empresas o unidades de negocio, aunque eso está cambiando ahora. Para nuestros propósitos, una empresa es diferente a una universidad y a un laboratorio gubernamental, ya que emplea a individuos que son «practicantes» procedentes de una serie de comunidades, ya sean científicas, tecnológicas o de dirección empresarial. El trabajo de la dirección consiste en configurar la competencia de los individuos en una base de conocimiento característico y específico de la empresa, que formará el núcleo de la capacidad de ésta para competir en los mercados nacionales e internacionales. Al mismo tiempo, continúan perteneciendo a un más amplio conjunto de comunidades del que puede echar mano la empresa cuando se enfrenta con problemas situados más allá del ámbito de experiencia concreta de sus empleados. Se facilita la comunicación porque los empleados comparten el mismo paradigma con otros miembros de esas comunidades, y son gobernados por los mismos principios básicos de «la mejor práctica». El carácter comunal, sin embargo, puede verse limitado por el secreto y otras restricciones que supone la privatización del conocimiento.

La competencia de una empresa es algo más que la suma de la competencia profesional de su fuerza laboral. También incluye el conocimiento más centrado que ejerce su influencia sobre el proceso de transformación que explota la empresa en cuestión. Ese conocimiento se halla organizado de una forma análoga a la ciencia y la tecnología, pero es diferente en el sentido de que depende también de la estrategia de negocio de la empresa y de su dimensión tecnológica específica. Esta agenda estratégica define una configuración concreta de diseño que la empresa tratará de explotar en el ámbito competitivo. Lo mismo que los científicos y los tecnólogos, los negociantes también tratan de establecer en el mercado su forma específica de hacer las cosas. La elección de una configuración de diseño compromete a las empresas, ya desde el principio, a seguir una forma específica de hacer las cosas y, por implicación, a no explorar las alternativas.

Aunque muchos de los elementos de la base de conocimientos de una empresa son codificados y públicos, los elementos específicos que se relacionan con su configuración de diseño elegida son tácitos y de propiedad privada. El conocimiento que tiene propiedad está codificado y puede hallarse sometido a licencia y comercialización, mientras que el conocimiento tácito está implícito en la cultura profesional e institucional de una empresa. El conocimiento de propiedad se halla protegido por patentes y por el secreto comercial y se lo suele percibir como típico de empresas de negocios y también de los estamentos militares. El conocimiento tácito no es exclusivo de las empresas de negocios, puesto que se halla presente en las prácticas de investigación de cualquier comunidad científica y tecnológica. En contra de lo que pudiera parecer, la ventaja competitiva de una empresa radica menos en su acerbo de conocimiento de propiedad, que en su base de competencia tácita. Al utilizarse el conocimiento de propiedad, éste se ve sometido a la imitación, la adaptación y la sustitución, y pierde gradualmente su valor de mercado. El conocimiento tácito sólo se puede adquirir contratando a gente que lo posea, y es la forma principal mediante la que una empresa puede rellenar su cesta de tecnologías singulares.

La prevalencia del conocimiento tácito sobre el de propiedad permite que la cultura de las empresas tecnológicamente avanzadas se acerque a las culturas académicas mucho más de lo que suele suponerse. El isomorfismo entre estas estructuras permite interacciones frecuentes que se encuentran en la raíz de la percepción según la cual la ciencia, la tecnología y la industria se acercan cada vez más, y apoyan nuestra afirmación de que las interacciones tienen lugar a un ritmo cada vez mayor en el contexto de aplicación. Comparten, además, una pauta de comportamiento común. Cada una de ellas se ve impulsada en parte por un proceso de competición y en parte por la necesidad de colaborar. En la ciencia, la competencia se produce por alcanzar reconocimiento académico, mientras que en el sistema tecnológico se produce por alcanzar eficiencia técnica, y en la industria por lograr ese tipo particular de eficiencia que genera unos beneficios financieros. En cada régimen, los individuos y los equipos tratan de establecerse como dominantes en sus formas particulares de hacer las cosas, es decir, en sus paradigmas respectivos. La dominación depen-

de de la creatividad, que es una cuestión de habilidad, recursos y organización. Cada una de ellas funciona en un régimen en el que los recursos son limitados y aunque el éxito puede relajar un tanto esta limitación, nunca la eliminará por completo. Esta limitación se puede superar hasta cierto punto mediante la colaboración. Pero la colaboración supone algo más que, simplemente, compartir los recursos. Como veremos, el contexto de uso es cada vez más aquel en el que se encuentran los mejores científicos y tecnólogos, y donde desarrollan ideas teóricas y procedimientos prácticos más novedosos.

Con objeto de comprender mejor la importancia general que tiene el cambio desde el modo 1 al modo 2 para que se plantee la ciencia de esta forma, en el resto del capítulo plantearemos dos conjuntos diferentes de cuestiones. En primer lugar, abordaremos algunos de los principales aspectos fenomenológicos del modo 2: su forma de producir conocimiento de un modo transdisciplinar, y la forma en que se ejerce el control de calidad sobre los resultados de esa producción. En segundo lugar, empezaremos a explorar la dinámica del modo 2 en términos de un aumento en la heterogeneidad de sus constituyentes y de un aumento en la densidad de los procesos de comunicación constitutivos que muestra con la sociedad, entre los practicantes científicos, y con los mundos físico y social. Esta creciente heterogeneidad de constituyentes y de comunicaciones constitutivas permite explicitar cómo el conocimiento socialmente distribuido se halla en el núcleo mismo del modo 2.

Sobre la fenomenología del nuevo modo de producción de conocimiento

Transdisciplinaridad

La transdisciplinaridad es la forma privilegiada de producción del conocimiento en el modo 2. Se corresponde con un movimiento que va más allá de las estructuras disciplinares en la constitución de la agenda intelectual, en la manera de desplegar los recursos y en las formas en que se organiza la investigación, se comunican y se evalúan los resultados. En este sentido, el modo 2 deriva su ímpetu de un contexto totalmente diferente al que prevaleció antes de que surgiera la ciencia disciplinar especializada, en el siglo XIX, cuando el escenario podría describirse como no disciplinar. El modo 2 evoluciona a partir de un contexto fuertemente disciplinar y, como ya hemos resaltado, el conocimiento producido bajo

estas condiciones se caracteriza por tratar de obtener un uso o realizar una acción, es decir, por dirigirse hacia la «aplicación» en su más amplio sentido.

En la producción del conocimiento transdisciplinar, la agenda intelectual no se halla situada dentro de una disciplina concreta, ni se fija simplemente por yuxtaposición de intereses profesionales de especialistas concretos, de una manera desconectada, dejando para otros la tarea de la integración en una fase posterior. La integración no viene dada por las estructuras disciplinares (en tal sentido, el proceso del conocimiento no es interdisciplinar sino que más bien atraviesa las disciplinas), sino que se concibe y se aporta desde el principio en el contexto de uso, o bien se especifica antes la aplicación en un sentido amplio. Trabajar en un contexto de aplicación crea presiones para utilizar una gama diversa de recursos de conocimiento y para configurarlos según el problema que se afronte. El contexto de aplicación ya está intelectualmente estructurado, aunque sólo sea en términos muy generales, y ofrece guías heurísticas. La búsqueda de una arquitectura fundamental para los ordenadores ya es una búsqueda de esa arquitectura, y nada más. Algunos participantes pueden tener una idea general acerca de cómo debería procederse en esa búsqueda y qué conocimientos y habilidades se necesitarán. Naturalmente, puede haber más de un punto de vista en cuanto a la mejor forma de proceder, y tales divergencias pueden alimentar un proceso de competición. En el recuadro 1.2 se ofrece una breve descripción del valor de la transdisciplinaridad y de por qué falla con tanta frecuencia.

RECUADRO 1.2

Sobre la transdisciplinaridad

¿Por qué se valora tanto la transdisciplinaridad y por qué fracasan tantos esfuerzos emprendidos para establecerla?

El problema de la transdisciplinaridad es el siguiente: precisamente por ser aclamada tan universalmente como algo positivo, todo el mundo cree que se la puede alcanzar por el simple hecho de aspirar a ella. No obstante, al observar más atentamente nos damos cuenta de que muchas cosas que parecen ser inter o transdisciplinares no son en realidad más que una simple acumulación de conocimientos derivados de más de una disciplina.

El anhelo por obtener inter y transdisciplinaridad, así como buena par-

te de la retórica que la acompaña, se halla enraizado en la nostalgia de una época en la que todavía parecía posible «la unificación de la ciencia». En algunos campos, como la física, todavía se halla muy vivo el «sueño de una teoría final» (Weinberg, 1993). Tales sueños revelan una nostalgia comprensible por encontrar una pauta de producción de conocimiento que es el opuesto exacto de lo que aparentemente prevalece en la actualidad: el implacable aumento de una mayor especialización del conocimiento científico y su diversificación en ámbitos cada vez más estrechos. Estos procesos, y la velocidad con la que tienen lugar, señalan el desmoronamiento de una comprensión común a través de las disciplinas científicas, la pérdida de una percepción intelectual común sobre su desarrollo, y la imposibilidad de comunicación a través de las especialidades. Se experimentan dificultades crecientes para mantener los estándares de la literatura científica experta, incluso entre especialidades vecinas y entre subcampos situados dentro de una misma disciplina. Estas tendencias se ven subrayadas por la proliferación de publicaciones científicas siempre nuevas que exploran nichos del mercado intelectual cada vez más y más especializados, por la creciente complicidad de los sistemas de clasificación del conocimiento, por una plétora de conferencias, reuniones y otras indicaciones que no son sino la manifestación externa del crecimiento de la fuerza laboral científica y tecnológica, y su continua especialización y diversificación.

El aprecio positivo otorgado a la inter o la transdisciplinaridad es la expresión del deseo de reinstaurar el sentido de comunidad.

Puesto que la interdisciplinaridad se ha convertido en un valor por derecho propio, a menudo se cree ingenuamente que el simple hecho de esforzarse por alcanzarla es motivo insuficiente para lograrlo. La experiencia, sin embargo, demuestra que numerosos intentos deliberados por ponerla en marcha, realizados a menudo con la mejor de las intenciones, se hallan condenados al fracaso, y que el índice de proyectos que no alcanzan éxito es especialmente elevado cuando se centran alrededor de la docencia universitaria.

Se han efectuado numerosos intentos por discernir la pluritransdisciplinaridad de la inter y la transdisciplinaridad. Siguiendo la definición dada por Erich Jantsch (1972), la pluri/multidisciplinaridad se caracteriza por la autonomía de las diversas disciplinas y no conduce a cambios en las estructuras disciplinares y teóricas previamente existentes. La cooperación consiste en trabajar sobre el tema común, pero bajo perspectivas disciplinares diferentes.

La interdisciplinaridad se caracteriza por la formulación explícita de una terminología uniforme, que trasciende la disciplina, o por una me-

todología común. La forma que adopta la cooperación científica consiste en trabajar sobre temas diferentes, pero dentro de una estructura común que es compartida por todas las disciplinas implicadas. La transdisciplinaridad sólo aparece si la investigación se basa en una comprensión teórica común, y tiene que ir acompañada por una interpenetración mutua de epistemologías disciplinares. En este caso, la cooperación conduce a un agrupamiento de solución de problemas enraizados disciplinarmente, y crea una teoría transdisciplinar homogénea o modelo de fusión.

En contraste con los intentos y los puntos de vista ampliamente sostenidos que se han emprendido para establecer la transdisciplinaridad por la fuerza, no argumentamos en favor de la transdisciplinaridad como un valor positivo *per se*. Observamos el surgimiento de un nuevo modo de producción de conocimiento como algo resultante de presiones sociales y cognitivas más amplias. Surge a partir de las disfuncionalidades y descomposiciones existentes de los modos disciplinares de solucionar los problemas. En el lenguaje de la autoorganización, sólo surge una vez que se han dado suficientes perturbaciones como para sacudir el sistema de producción de conocimiento. Aunque se puede argumentar que el establecimiento efectivo de un campo particular como transdisciplinar (o, por seguir la terminología de Erich Jantsch, como un agrupamiento de métodos de solucionar problemas enraizados en las disciplinas) imitará probablemente a largo plazo la institucionalización efectiva de una disciplina, y se convertirá por tanto en una disciplina en sí misma, nuestro interés radica en la producción de conocimiento como un proceso continuo, y en los cambios que ocurren en las formas de producirlo. Un modo transdisciplinar consiste en una vinculación y revinculación continua en agrupamientos y configuraciones específicas de conocimiento, que se conjuntan de una forma temporal en contextos de aplicación específicos. Así pues, se halla fuertemente orientada hacia la solución de problemas, y se ve impulsada por esta. Su núcleo teórico-metodológico, aunque cruza núcleos disciplinares bien establecidos, se ve impulsado a menudo localmente, y está localmente constituido, por lo que tal núcleo es muy sensible a las nuevas mutaciones locales, dependiendo del contexto de aplicación. El modo transdisciplinar de producción de conocimiento descrito por nosotros, no tiene necesariamente como objetivo el establecerse a sí mismo como una nueva disciplina transdisciplinar, y tampoco se ve inspirado por la restauración de la unidad cognitiva. Antes al contrario, es esencialmente una configuración temporal y, por lo tanto, altamente mutable. Toma su configuración particular y genera el contenido de su núcleo teórico y metodológico como respuesta a las formulaciones de problemas que se producen en contextos de aplicación alta-

mente específicos y locales. Del mismo modo que el debate sobre naturaleza y nutrición, y sobre la adaptabilidad de la cultura humana a universales biológicos ha pasado más allá de la respuesta de «esto o lo otro», para centrarse en lugar de eso en modos específicos de aprendizaje y de respuestas culturales, lo mismo sucede con la producción del conocimiento científico y tecnológico: es el modo específico el que configura el resultado.

No obstante, la búsqueda dentro de un contexto de aplicación no es un asunto aleatorio. La producción de conocimiento se verá guiada por consideraciones teóricas, así como por la limitación de los métodos experimentales. Y aunque toma su punto de partida de las estructuras intelectuales de todos aquellos que participan en la búsqueda, pronto las deja atrás para seguir nuevos caminos. Con el transcurso del tiempo evolucionará una nueva estructura, una estructura del modo 2, y se encontrará, por ejemplo, la arquitectura básica. Será diferente a cualquiera de las estructuras constituyentes y, sin embargo, no habría podido desarrollarse sin ellas. Habitualmente, la estructura elegida del modo 2 guiará buena parte del trabajo posterior, pero puede suceder que todos los implicados regresen a su disciplina original, mientras que serán otros contratados los que lleven más lejos el proceso. La nueva estructura del modo 2 constituye un nuevo punto de partida desde el que surgirán otros problemas y, si éstos son lo bastante exigentes, se pondrá a trabajar en ellos a los mismos individuos o a otros diferentes. Las disciplinas ya no son por tanto el único lugar donde se encuentran los problemas más interesantes, y tampoco son las sedes a las que tienen que regresar los científicos en busca de reconocimientos o recompensas. A lo largo de toda una vida, estos «expertos» bien pueden haberse alejado un largo trecho de sus disciplinas originales, tras haber trabajado en sus carreras sobre una amplia gama de problemas estimulantes.

En los contextos transdisciplinares parecen ser menos y menos relevantes las fronteras disciplinares, las distinciones entre investigación pura y aplicada y las diferencias institucionales entre, por ejemplo, universidades e industria. En lugar de eso, la atención se centra fundamentalmente sobre un ámbito problemático, o sobre un tema candente, y se da preferencia al rendimiento colaborador, antes que al individual, juzgándose la excelencia por la capacidad de los individuos para aportar contribuciones sustanciosas en tipos de organización abiertos y flexibles en los que

quizá sólo trabajen temporalmente. A pesar de todo, el nuevo modo de producción de conocimiento no puede abrirse camino a la fuerza en el escenario institucional. Para que quede institucionalizado tiene que darse una determinada serie de condiciones básicas. La búsqueda de comprensión debe estar guiada por modelos acordados y conjuntos de técnicas experimentales, su articulación debe seguir los cánones del método empírico, sus conclusiones se tienen que poder comunicar a una comunidad más amplia, y otros deben poder replicarlas. Para calificarse como tal, el conocimiento tiene que formar un repertorio organizado, y sus métodos de trabajo tienen que ser transparentes.

Los resultados científicos no se generan en un vacío. Los procesos sociales actúan a través de ellos, aunque quizá sean más evidentes al principio que al final; es entonces cuando se decide la agenda y se evalúan los resultados. Es aquí, en la legitimación de sus actividades *vis-à-vis* de la producción de conocimiento del modo 1, donde se pone más de manifiesto la novedad de la actividad transdisciplinar y donde surgen las tensiones. Por ejemplo, aunque es cierto que la investigación transdisciplinar es más fluida y flexible en cuanto a su modo de organización, también parece ser más transitoria. Quizá sea esta la razón por la que en los grandes proyectos, como el trazado del mapa del genoma humano, los elementos expertos constituyentes del proyecto permanecen distribuidos a lo largo del mismo. Parece existir poca presión para centralizar proyectos tan grandes de una forma permanente y, gracias a la movilidad de las redes de trabajo existentes, se produce una formación continua de jóvenes investigadores, técnicos y alumnos postdoctorales. Este modo de formación ofrece un agudo contraste con el monopolio mantenido por las facultades universitarias, que conceden el doctorado como un requisito previo para entrar en ambientes de trabajo característicos del modo 2.

Aunque sigue siendo válida, interesante e importante, la producción de conocimiento dentro de las estructuras disciplinares tradicionales, el modo 2 surge a partir de estas mismas estructuras y ahora existe junto a ellas. A pesar de hallarse en una fase inicial de desarrollo, algunas de las prácticas asociadas con el nuevo modo ya están creando presiones tendentes a producir un cambio radical en las instituciones tradicionales de la ciencia, particularmente en las universidades y en los consejos nacionales de investigación. No es nada sorprendente que algunas de esas instituciones se resistan particularmente a tales cambios, que parecen amenazar las mismas estructuras y procesos que se han creado para proteger la integridad de la empresa científica.

Control de calidad

La identificación de este cambio depende hasta cierto punto de lo que se quiere dar a entender por ciencia y tecnología. En ambos casos, lo que cuenta como conocimiento viene determinado en buena medida por lo que los propios científicos y tecnólogos dicen que cuenta, y eso afecta implícitamente, si no explícitamente, a las normas que gobiernan las formas mediante las que producen conocimiento. Quienes afirman producir conocimiento científico no sólo tienen que seguir ciertos métodos generales, sino que también se les debe formar en los procedimientos y las técnicas apropiadas. Para conseguir financiación, los investigadores tienen que formular los problemas sobre los que desean trabajar, haciéndolo de formas específicas y reconocibles por parte de sus colegas, y tienen que ser muy escrupulosos a la hora de informar de sus resultados a una comunidad de iguales, utilizando para ello modos prescritos de comunicación. La ciencia es un conjunto de actividades altamente estructuradas que implican la existencia de una estrecha interacción entre las normas técnicas y las sociales. Naturalmente, no toda la ciencia se produce de la misma manera, pero las normas técnicas y sociales se acomodan de forma diferente en cada especialidad, que queda absorbida a su vez en una comunidad más amplia mediante un proceso de profesionalización e institucionalización. La tecnología es una forma similar de conocimiento, gobernada intelectualmente por estructuras que guían la investigación y sugieren soluciones probables, y socialmente por grupos de iguales que evalúan las soluciones y desarrollan códigos que determinan cuál es la mejor práctica.

En contraste con ello, lo que se produce fuera de tales estructuras puede ser problemático. Muchos argumentan que el conocimiento no se puede calificar como científico si se produce al margen de sus estructuras legitimadoras. Surgirá una tensión con las estructuras establecidas cuando cualquier científico actúe de manera diferente a lo prescrito por su conjunto específico de normas técnicas y sociales. Pero mientras el número de esos desviados no sea significativo, no se plantea ninguna amenaza para el control social de la producción de conocimiento. Sin embargo, se cuestiona la legitimidad de sus resultados cuando un número significativo de científicos elige trabajar sobre problemas situados al margen de sus especialidades, cuando forman equipos con otros especialistas para trabajar en proyectos complejos, cuando, al hacerlo así, establecen acuerdos con otras instituciones sociales que amplían el cuerpo de intereses implicados en la determinación de las agendas y las prioridades, y cuando el rendimiento se evalúa por parte de un grupo ampliado de colegas. En las sociedades más industrializadas, el sistema de educación superior se ha ocupado de que se difundan procedimientos de investigación sanos, y se ha expandido el número de oportunidades para utilizar la ciencia. Hay que adaptar las normas que han gobernado la producción del conocimiento científico porque las actuales ya no se perciben como adecuadas para el desarrollo continuo de la propia ciencia.

Al analizar la producción de conocimiento en términos del surgimiento del modo 2 junto al modo 1, tenemos que clarificar dónde se encuentran las diferencias. De éstas, una esencial se refiere a los cambios en los mecanismos que valoran la calidad del conocimiento producido. En el modo 1, y tanto para el conocimiento científico como para el tecnológico, se trata de establecer un consenso provisional entre una comunidad de practicantes. Los juicios que emita dicha comunidad forman un poderoso mecanismo de selección de problemas, métodos, personas y resultados. Mantener los estándares constituye un proceso social crucial, y sus prerrogativas se ven protegidas porque se considera que el control riguroso de la calidad es la principal forma de mantener la autonomía sobre los asuntos internos de la comunidad. El control de calidad tiene dos componentes principales: uno es institucional y se refiere a la posición espacial de una actividad investigadora concreta en el paisaje cognitivo; el otro es cognitivo y pertenece a la organización social en la que se lleva a cabo tal investigación.

La dependencia del control de calidad respecto del espacio institucional

En el modo 1, el control es ejercido por diferentes tipos de instituciones productoras de conocimiento, cada una de las cuales tiene sus propios límites, estructuras de aprendizaje y reglas de comportamiento. Tales instituciones incluyen, por ejemplo, universidades, academias nacionales y sociedades profesionales. Cada una tiene formas diferentes de controlar a sus miembros; algunas ofrecen formación, y establecen procedimientos para producir y convalidar el conocimiento. Debido a que la producción de conocimiento en el modo 2 ocurre dentro de contextos de aplicación transitorios, es improbable que las comunidades de practicantes que ejercen el control de calidad se vean apoyadas por instituciones relativamente estables como las que encontramos en el modo 1. Considerado desde el punto de vista del modo 1, tal proceso de control de calidad aparece necesariamente como dislocado. Asume formas transitorias y temporales,

muestra contornos fluidos y normas provisionales, y ocupa espacios institucionales temporales que pueden acomodar a los productores de conocimiento con numerosas y diferentes afiliaciones institucionales, ya sea simultánea o secuencialmente.

La dependencia del control de calidad respecto de la organización social de la investigación

El segundo componente del control de calidad se relaciona con mecanismos que definen qué problemas hay que abordar, cómo se tienen que afrontar y qué resultados se consideran como válidos. Eso supone un cambio con respecto al control situado dentro de las disciplinas, para pasar a clases más difusas de control que reflejan la naturaleza transdisciplinar de los problemas abordados. En el modo 2, el éxito se define de forma diferente a como se hace en el modo 1. El éxito en el modo 1 quizá pueda describirse sintéticamente como la excelencia definida por los colegas disciplinares. En el modo 2, el éxito tendrá que incluir criterios adicionales, como la eficiencia o utilidad, definidas en términos de la contribución que ha hecho el trabajo a la solución general de problemas transdisciplinares. En ambos casos, el éxito refleja una percepción de calidad juzgada por una comunidad concreta de practicantes. Pero todo control de calidad está vinculado, se ve legitimado y, en último término, recibe su credibilidad y su autoridad científica de una idea, imagen o concepto de lo que constituye la buena ciencia, incluida la mejor práctica. Por ejemplo, en momentos diferentes de la historia, aquello que constituye la buena ciencia se ha visto guiado por el ideal de verdad y por la búsqueda de principios unitarios. En el modo 2, la valoración de la calidad de la buena investigación es doble. Por un lado, tiene que ver, como ya hemos visto, con el hecho de que la comunidad de practicantes sea transitoria e interdisciplinar, mientras que por otro lado surge a partir del hecho de que los criterios de calidad no son exclusivamente aquellos que se aplican en el modo 1, sino que incluyen también criterios adicionales que surgen a partir del contexto de aplicación.

La sabiduría actual convencional dice que el descubrimiento debe preceder a la aplicación. Aunque este no ha sido siempre el caso, ha proporcionado una poderosa imagen acerca de cómo deberían ser las cosas. En contraste, el control de calidad del modo 2 se ve guiado adicionalmente por una buena cantidad de preocupaciones prácticas, sociales y relacionadas con la política, de tal modo que el conocimiento que se vaya a producir deberá tener en cuenta el ambiente ya estructurado por la aplicación o

el uso. Cuando se produce realmente conocimiento en el contexto de aplicación, no se aplica a la ciencia, porque el descubrimiento y las aplicaciones no pueden separarse, y la ciencia relevante es producida en el mismo curso de aportar soluciones a problemas definidos en el contexto de aplicación. Quienes ejercen el control de calidad en el modo 2 han aprendido a utilizar múltiples criterios, no sólo en general, sino también en relación con los resultados específicos producidos por la configuración particular de los investigadores implicados.

La dinámica de la producción de conocimiento en el modo 2

Para comprender mejor el crecimiento y difusión del modo 2, trazaremos una distinción entre crecimiento homogéneo y heterogéneo. Dentro de lo que es la empresa científica, un ejemplo de crecimiento homogéneo sería la expansión de una entidad dada, como pueden ser los artículos sobre física nuclear, en la que el índice de crecimiento sigue una curva logarítmica. En este caso, el crecimiento consiste esencialmente en la producción de más de lo mismo, ya se trate de número de artículos producidos o de número de científicos que trabajan en un campo dado. El resultado es un crecimiento exponencial que continuaría indefinidamente si no fuera por el hecho de que los recursos son finitos (De Solla Price, 1963). En contraste con ello, el crecimiento heterogéneo se refiere a un proceso de diferenciación a través del cual tienen lugar reacondicionamientos de elementos componentes dentro de un proceso dado o conjunto de actividades. En estos casos, lo que crece es el número de reacondicionamientos, en lugar de crecer exclusivamente el número de resultados; es decir, se produce aquí un cambio en el ritmo al que ocurre la diferenciación interna. El fenómeno queda enmascarado si se consideran en el agregado solamente las estadísticas nacionales de investigación y desarrollo (I + D), o si se escucha exclusivamente la retórica de los líderes institucionales de la comunidad científica, pero es evidente que están teniendo lugar cambios estructurales profundamente asentados, tanto dentro de las comunidades científicas como entre éstas y el conjunto de la sociedad, con un conocimiento que empieza a ser socialmente distribuido entre segmentos cada vez más amplios de la sociedad. La globalización de la ciencia, de las fuentes de I + D y del papel que juega el conocimiento especializado, ha terminado por influir sobre el resultado de la innovación tecnológica de una forma heterogénea, altamente diferenciada, de crecimiento del cono-

cimiento. Esto se expresa eficazmente en las pautas de autoría de los artículos científicos, el vehículo tradicional de la comunicación científica. No sólo está aumentando el número medio de autores por artículo, sino también la diversidad de especialidades y disciplinas implicadas en la redacción de un solo artículo y el ámbito de las organizaciones e instituciones de las que proceden los autores. Además, la distribución geográfica de estas instituciones continúa ampliándose. En el modo 2 no sólo hay implicados más autores en la génesis del conocimiento, sino que éstos se mantienen más ampliamente distribuidos a nivel geográfico.

¿Qué clase de modelo, de estructura analítica, puede describir mejor este proceso de crecimiento heterogéneo, un proceso de difusión en el que el número de las vinculaciones entre entidades aumenta, en el que se establecen nuevas configuraciones que se disuelven y vuelven a emerger en combinaciones diferentes? La comunicación juega un papel central en este proceso y la densidad de la comunicación parece ser la variable clave. Un aumento en la densidad de la comunicación es un indicativo de que el índice de difusión va en aumento y, dada una multitud de lugares diferentes de producción de conocimiento, y una suficiente diversidad entre los participantes, el crecimiento es probablemente heterogéneo, antes que homogéneo.

Durante las pasadas décadas, la mayoría de los países industriales se dedicaron a crear la infraestructura básica para un sistema dinámico de producción de conocimiento basado en la especialización y en las estructuras disciplinares. Eso ha supuesto construir muchas más universidades y centros de investigación de diversos tipos, a menudo a través de contratos gubernamentales de investigación y dotación de fondos, y de animar a las grandes empresas a ser actores más importantes en la I + D. Las investigaciones realizadas siguiendo esta pauta han establecido no sólo una floreciente cultura investigadora, sino que también han multiplicado ampliamente el número de lugares donde se puede realizar investigación científica, no sólo en cada una de las naciones, sino también a nivel mundial. De una forma no planificada e imprevista, esas pasadas inversiones han establecido las condiciones previas esenciales para que el número de vínculos de comunicación sea lo bastante grande como para cambiar de manera fundamental las pautas existentes de producción de conocimiento. La densidad de comunicación entre los elementos del sistema global de investigación ha alcanzado el punto crítico en el que el resultado cierto, aunque no intencionado, es una expansión significativa de los vínculos de comunicación. La expansión del número, la naturaleza y alcance de las interacciones comunicativas entre los diferentes lugares de producción de

conocimiento conduce no sólo a que se produzca más conocimiento, sino también a que se disponga de más conocimiento de diferentes clases, no sólo por lo que se refiere a compartir recursos, sino también a su continua configuración. Cada nueva configuración se convierte en una fuente potencial de nueva producción de conocimiento que se ve transformada a su vez en el lugar de más posibles configuraciones. La multiplicación de las cifras y las clases de configuraciones se hallan en el núcleo mismo del proceso de difusión resultante de la creciente densidad de la comunicación. Su condición previa es el vasto aumento en el número de las interacciones comunicativas de muchas clases, ya que sólo una fracción de ellas tendrán como resultado nuevas configuraciones que sean lo bastante estables como para convertirse en lugares para más producción de conocimiento. Este proceso se ha visto muy ayudado por las tecnologías de la información, que no sólo aceleran el ritmo de la comunicación, sino que también crean más vinculaciones nuevas.

La expansión del número de interacciones comunicativas que subraya la noción de la densidad de la comunicación, incluye aquellas comunicaciones que tienen lugar dentro de una especialidad concreta, así como aquellas otras que tienen lugar entre especialidades. Funcionalmente, así como en su evolución histórica, el aumento de la densidad se basa en un sistema interrelacionado de tres capas, en el que cada nivel depende de los otros dos. En la producción del conocimiento científico, la comunicación ocurre entre la ciencia y el conjunto de la sociedad, entre los practicantes científicos y también con las entidades del mundo físico o social.

Comunicación entre ciencia y sociedad

Esta es la red de comunicación más amplia y, por la misma naturaleza del vínculo de comunicación, también la que se halla vinculada de forma más flexible. Tradicionalmente, la comunicación entre la ciencia y la sociedad fue esencialmente unilateral: los científicos eran los detentadores de conocimiento experto privilegiado, mientras que a los legos en la materia había que ilustrarlos y educarlos. En el pasado, diversas formas de popularización del conocimiento científico han configurado esta relación, sin alterar por ello la concepción básica subyacente. La presión hacia un aumento de la responsabilidad surge de dos formas distintas pero relacionadas. En primer lugar, en todos los países existe ahora una mayor presión para justificar los gastos públicos en ciencia. La responsabilidad financiera trata, esencialmente, de justificar el gasto, de asegurar que los recursos financieros se han gastado según la manera estipulada en el pro-

ceso de asignación de recursos. Pero, en segundo término, esto es sólo un aspecto de una preocupación social mucho más amplia por la realización y los objetivos de la investigación científica. Se ha creado así una creciente demanda de responsabilidad social, así como financiera.

El aumento de la responsabilidad social, particularmente evidente en las últimas décadas, surgió cuando una ciudadanía mejor educada planteó nuevas demandas a la ciencia. Esas demandas se vieron alimentadas teniendo como telón de fondo una serie de controversias tecno-políticas. En los debates públicos surgidos alrededor de estas controversias, se puso de manifiesto que en la sociedad había echado raíces una fuerte exigencia de valoración social de la ciencia. El anterior proceso de comunicación unilateral que iba desde los expertos científicos hasta el público lego, percibido por estos como científicamente analfabeto y necesitado de educación por parte de los expertos, se ha visto suplantado por exigencias de responsabilidad, apoyadas políticamente, planteadas a la ciencia y la tecnología, así como por las nuevas discusiones públicas en las que los expertos tienen que comunicar una ciencia más «vernacular» que antes. Hasta el momento, los dominios más sensibles se han centrado en los riesgos tecnológicos, y notablemente en aquellos relacionados con la energía nuclear y otras grandes instalaciones técnicas peligrosas, mientras que las preocupaciones medioambientales abarcan una amplia gama de temas, desde la capa de ozono hasta la biodiversidad y los peligros potenciales o los temas éticos asociados con la biotecnología y la ingeniería genética. En todos estos casos, la tecnología ha estado quizá más implicada que la ciencia *per se*, mientras que, en la mente del público, se las considera a ambas como estrechamente interrelacionadas. Lo que a menudo está en juego es la afirmación de que la investigación no conoce límites, mientras que el argumento contrario afirma que no todo lo que la investigación puede aprender y hacer debería ser aprendido o hecho, y no siempre es beneficioso para la sociedad. Un argumento relacionado con el anterior es que, en términos estrictos, ya no es posible limitar los experimentos científicos y técnicos a los que se realizan en los laboratorios, y que la propia sociedad se ha convertido en un laboratorio para experimentos que deberían haber sido controlados de una forma mucho más estrecha y social.

Las nuevas demandas de responsabilidad y de una mayor comunicación entre la comunidad de expertos científicos y técnicos, y el público «atento», se hallan interconectadas y emanan de la difusión de la educación superior a través de la sociedad. El aumento del nivel educativo de la población en las sociedades altamente industrializadas, y el amplio uso

que se hace de las aplicaciones tecnológicas en los hogares, puestos de trabajo y otros lugares públicos (como por ejemplo el transporte) y privados (como por ejemplo la salud), contribuyen a acelerar la amplia difusión del conocimiento científico y tecnológico en la sociedad. Tal como han demostrado numerosos estudios detallados sobre la innovación tecnológica orientada hacia el mercado, la presencia de compradores y usuarios potenciales, que se encuentran situados directamente en los contextos del desarrollo, influye sobre la dirección que tomarán esas líneas innovadoras de la investigación (Von Hippel, 1976, 1988).

A medida que se difunden, las nuevas formas de producción de conocimiento compensan situaciones ambiguas en la medida en que las viejas líneas de demarcación y las fronteras se hacen más porosas, o incluso se descomponen. Las universidades, por ejemplo, pueden adoptar «valores» de la cultura empresarial de la industria, dando lugar así a un tipo completamente nuevo de empresario académico. Y, a la inversa, las grandes empresas adoptan algunas de las normas de la cultura académica, como por ejemplo cuando conceden años sabáticos a sus empleados, o les proporcionan otras formas de posibilidades de formación. A un nivel más amplio, los «derechos de propiedad» intelectual se han convertido en un tema importante en el campus universitario, lo que ha otorgado nuevos papeles a los abogados, antes que a los comités, a la hora de resolver conflictos y de regular las condiciones bajo las que se lleva a cabo la investigación. La lista de ejemplos podría extenderse casi indefinidamente. ¿A través de qué mecanismos ocurre tal «toma de prestado» o transferencia de normas y prácticas, y cómo mantiene cada subsistema su identidad característica y valores fundamentales, de acuerdo con los cuales resuelve otros conflictos?

La mezcla de normas y valores en segmentos diferentes de la sociedad forma parte de un proceso de difusión que fomenta al mismo tiempo una mayor comunicación entre ellos, al crear una cultura y un lenguaje comunes. Además, en los intersticios situados entre las instituciones ya bien asentadas y sus componentes se establece una variedad de agencias intersistémicas o cuerpos intermediarios; ejemplos tomados de Estados Unidos pueden ser la Administración para el empleo, la Seguridad y la Salud, o los Amigos de la Tierra, una institución gubernamental y una organización privada, respectivamente, dedicadas ambas a la calidad medioambiental, que cruzan las líneas disciplinares y que representan intereses, personas, recursos y poderes públicos, privados y científicos. Así pues, aunque diferentes clases de instituciones pueden mantener su propio carácter distintivo y sus funciones, generan continuamente nuevas formas

de comunicación que las vinculan. Esto explica parcialmente el surgimiento de nuevas comunidades híbridas, compuestas por personas que han sido socializadas en diferentes subsistemas, disciplinas o ambientes de trabajo, pero que posteriormente aprenden diferentes estilos de pensamiento, modos de comportamiento, conocimiento y competencia social que no poseían originalmente. La hibridación refleja la necesidad de las diferentes comunidades para hablar más de una lengua con objeto de comunicarse en las fronteras mismas y en los espacios existentes entre los sistemas y subsistemas. La voluntad y disponibilidad de gran número de personas para convertirse en miembros de tales comunidades híbridas también se debe, sin embargo, al desbordamiento de las actitudes científicas procedentes de las universidades y laboratorios hacia el conjunto de la sociedad (algo que hemos definido como una mayor predisposición a plantear cuestiones y a buscar respuestas a través de la razón, y a la evidencia y aceptación del cambio en general).

Así pues, la comunicación entre investigación y sociedad adquiere cada vez más la forma de procesos de difusión que transmiten el conocimiento científico y tecnológico a la sociedad, mientras que las normas y las expectativas sociales mantenidas por diferentes instituciones y comunidades se imponen más forzadamente sobre las comunidades investigadoras. Al mismo tiempo, proliferan los lugares donde se crea el conocimiento, aumentando así tanto las posibilidades como la necesidad de que se lleve a cabo tal difusión. La comunicación se hace entonces más densa, en concordancia con la evolución de la complejidad general de la sociedad.

Comunicación entre practicantes científicos

La comunicación científica que vincula los lugares de producción de conocimiento se lleva a cabo a través de los flujos de científicos y de ideas científicas que se transmiten entre ellos. La densidad de comunicación entre los científicos se halla incrustada en la organización social de su trabajo. Al principio de la ciencia moderna se tuvo la percepción de que introducir una división del trabajo científico sería un factor crucial para acelerar la solución de los problemas científicos. Ya en el siglo XVI, Kepler había señalado la división del trabajo existente entre los astrónomos de su tiempo: si fueran más numerosos podrían no sólo acumular más datos de observación, sino también aplicar su trabajo científico a unos pocos problemas muy selectivos, contribuyendo así de un modo más eficiente a la solución de los problemas.

La comunicación entre los científicos se ve influida por dos factores:

uno es su movilidad, mientras que el segundo se relaciona con la forma en que establecen prioridades y seleccionan los problemas a abordar. La movilidad es una condición previa esencial para la interfecundación de las ideas científicas y del conocimiento práctico. Los científicos que se mueven entre los diferentes lugares de producción de conocimiento intercambian ideas y conocimientos prácticos, y aprenden también nuevas técnicas, el manejo de nuevos instrumentos y principios. Numerosos casos de creatividad científica, de repentinas comprensiones que permitieron la apertura de caminos novedosos hacia el hallazgo de soluciones, pueden remontarse a los encuentros celebrados entre científicos procedentes de diferentes lugares. Cuanto mayor sea la movilidad que permita un sistema de ciencia, e incluso cuanto más se la estimule, mayor será el número que se dará de casos potenciales de este tipo.

Naturalmente, la movilidad también tiene sus límites, impuestos por el necesario equilibrio entre la estimulación de nuevas percepciones y el laborioso proceso de elaborarlas. Pero es evidente que en las últimas décadas ha aumentado de forma espectacular la densidad de comunicación entre los científicos, a través de varias formas de movilidad. Numerosas conferencias y reuniones se ven complementadas por una amplia serie de diferentes canales de comunicación, que van desde el artículo al estilo antiguo, hasta las preimpresiones, desde el teléfono al fax, el correo electrónico y las redes de trabajo múltiples que permiten a muchas mentes encontrarse y discutir juntas los temas a debatir, sin necesidad de encontrarse físicamente presentes en el mismo lugar. Y no deja de tener importancia el hecho de que la red mundial de correo electrónico esté fuertemente subvencionada por los gobiernos, lo que permite que su utilización sea esencialmente gratuita para sus usuarios.

La multiplicación de los canales de comunicación, tanto formales como informales ha supuesto un magnífico crecimiento en la densidad de la comunicación. Como ejemplos recientes cabe citar las noticias iniciales sobre el descubrimiento de la superconductividad a altas temperaturas, o el supuesto éxito en el logro de la fusión en frío, todo lo cual permite que la comunidad científica despliegue todas las características de una aldea global. La comunicación casi instantánea ofrece a los científicos, incluso cuando trabajan en lugares remotos, la posibilidad de duplicar inmediatamente los experimentos, de solicitar la colaboración de nuevos expertos y de explotar las ideas novedosas. La misma abundancia de posibilidades para encontrar nuevas formas e intensidades de comunicación también permite, al menos en principio, el crecimiento de la comunicación entre diferentes especialidades, lo que constituye un aspecto importante de la pro-

ducción de conocimiento en el modo 2. Mientras que, en el pasado, los científicos se vieron más limitados en cuanto a los medios de comunicación que tenían a su disposición, y que utilizaban fundamentalmente para comunicarse dentro de sus propias especialidades, la información moderna y las tecnologías de la comunicación les proporcionan ahora un amplio espectro de oportunidades.

La transdisciplinaridad se ha visto facilitada por la disponibilidad de estos medios de comunicación intensivos. El propio ordenador se ha convertido en una nueva y poderosa herramienta en la ciencia, capaz de generar un lenguaje y unas imágenes nuevas. Se pueden citar la imágenes hermosamente coloreadas de los fractales, que han cambiado la percepción de los científicos y del público en general en formas que son estéticamente agradables y matemáticamente desafiantes. Los datos de modelación, ya se hallen relacionados con la investigación medioambiental, en la que se están generando enormes modelos climáticos o de flujos oceánicos, o con la geografía y las ciencias afines, donde el advenimiento de los sistemas de información geográfica (GIS) ha cambiado literalmente la forma de ver y practicar la planificación regional, han abierto nuevos canales de comunicación que cruzan directamente las disciplinas científicas y los campos de investigación. Mediante la inclusión de imágenes y de otros modos de representar los datos, se sigue creando un mundo de representación totalmente artificial, lo que atestigua la poderosa creatividad de estas nuevas formas de comunicación científica. Todos los aspectos del modo 2 y especialmente la transdisciplinaridad se están fortaleciendo cada vez más a través de estos nuevos modos de representación que cruzan las disciplinas, al tiempo que contribuyen mucho a la densidad de la comunicación con la naturaleza y entre los científicos.

El segundo factor que afecta a la creciente densidad de comunicación entre los científicos y sus lugares de investigación surge a partir de las formas de seleccionar los problemas y establecer las prioridades. Es evidente que no todos los problemas que merecen ser investigados serán realmente estudiados por una masa crítica de científicos lo bastante grande como para suponer una diferencia. Entre las disciplinas y especialidades existen diferencias características en la proporción de personas dedicadas a estudiar los problemas planteados. Esto permite a Becher comparar el «modo urbano» de comunicación, que considera como característico de las ciencias duras, con el «modo rural», característico de las ciencias blandas (Becher, 1989, págs. 79-80). Tal como sucede en una zona urbana, el territorio cognitivo del primer caso se halla densamente atestado y poblado por personas que desean trabajar sobre un pequeño número de pro-

blemas considerados como muy relevantes y gratificantes. El espacio cognitivo, por tanto, se halla atestado, la comunicación es espesa, y la competencia muy intensa. En contraste con ello, muchas de las ciencias blandas, aunque no todas, y prácticamente toda las ciencias aplicadas parecen caracterizarse por una forma «rural» de comunicación. Aquellos problemas sobre los que se considera valioso trabajar son mucho más numerosos y están más extendidos; los científicos tienen mucho donde elegir y pueden instalarse en el siguiente valle si les parece que el actual ya está demasiado atestado de gente. Las pautas de comunicación están menos bien organizadas, y las noticias sobre progresos conceptuales o metodológicos significativos tienden a filtrarse por goteo, en lugar de difundirse rápidamente. De ahí que los científicos que trabajan de acuerdo con un modo urbano dispongan de mecanismos establecidos que les permiten ponerse de acuerdo más fácilmente sobre los problemas. Se hace posible entonces delinear una frontera de conocimiento más o menos común, y hablar sobre las clases de problemas a los que todos esperan encontrar una solución relativamente cercana, mientras que el hallazgo de otras soluciones se percibe como todavía alejado en el tiempo. El «modo rural», por el contrario, supone también un ritmo más lento del progreso científico colectivo, unos recursos intelectuales más dispersos, y también formas individualistas de trabajar. En consecuencia, la densidad de comunicación entre los científicos es un factor importante para acelerar la producción de conocimiento, no sólo a través de una variedad de lugares diferentes, sino también en un solo lugar densamente poblado, donde el espacio para encontrar problemas es más bien escaso y el precio del territorio cognitivo es consecuentemente más elevado.

Otro factor importante en las pautas de comunicación entre los científicos tiene que ver con la dimensión internacional y local o nacional. En un capítulo posterior se describirá la forma en que esto afecta a la competencia y cooperación entre los científicos, y a las clases de temas que se plantean las organizaciones de investigación todavía ampliamente incrustadas en los sistemas nacionales. Aquí será suficiente con volver a resaltar que la comunicación entre los científicos es esencialmente internacional, en concordancia con el universalismo de la ciencia, y orientada local o nacionalmente, en concordancia con la todavía dominante orientación nacional de la financiación de la I + D. Las estructuras de las carreras profesionales de los científicos, todavía se ven configuradas en buena medida, a pesar de su movilidad internacional, por el sistema nacional de ciencia; de ahí la perpetuación de algún grado de estilos nacionales diferentes, o de tradiciones nacionales de producción de conocimiento.

Comunicación con las entidades del mundo físico y social

La comunicación en este sentido es una forma metafórica de describir cómo enfocan los científicos el objeto de su estudio. Ya desde el principio de la ciencia moderna, en el siglo XVII, se utilizaron las ideas acerca de cómo «hacer que hable la naturaleza», cómo «inducirla a revelar sus secretos», o incluso las formas de «obligarla a responder», como una forma de descripción de la configuración experimental y de las precondiciones para enmarcarla. A partir de la época de Galileo, el principal lenguaje y el de mayor éxito a la hora de comunicarse con la naturaleza ha sido un discurso formalizado mediante el empleo de las matemáticas y de otras clases de símbolos formalizados. No obstante, el lado científico-conceptual de este diálogo se ha visto siempre emparejado por una práctica comunicativa forzada de intentos de manipulación y control. El aspecto práctico de los experimentos supone trabajo artesanal, conocimiento y, claro está, instrumentos y tecnología.

¿Qué ha cambiado entonces entre los inicios de la ciencia moderna y las formas tecnológicamente avanzadas de comunicación con la naturaleza que dominan en la ciencia actual? La ciencia ha hecho posible observar, analizar y, en parte, manipular «lo muy grande y lo infinitesimalmente pequeño», como queda ejemplificado por los experimentos realizados en el espacio o, por ejemplo, con las ondas gravitacionales o los primeros pasos en la manipulación de átomos individuales, en el nivel microscópico de la materia. La naturaleza no está presente en cualquier laboratorio, sino que tiene que ser introducida en él. Entonces y allí mismo, la naturaleza es apropiadamente preparada, y puede ser deliberadamente sometida a experimentos. Mediante una preparación adecuada, se ha hecho posible acelerar o retardar los procesos, ampliar o miniaturizar, según el diseño experimental. Para hacerlo así, la instrumentación ha sido la herramienta indispensable de trabajo, al mismo tiempo que es mucho más que una simple pieza de tecnología. Los instrumentos científicos personifican el conocimiento científico, y conducen al mismo tiempo a la generación de más conocimiento científico. Se los considera, correctamente, como una fuente principal de innovación científica, y a menudo aportan importantes elementos nucleares para engendrar más innovación tecnológica, una vez que han sido transferidos desde el laboratorio hasta otros lugares de producción de conocimiento. En resumen, en el nivel de la comunicación con la naturaleza se ha producido un magnífico crecimiento de técnicas, una sofisticación de los conceptos, instrumentos y herramientas, todo lo cual ha aumentado la riqueza del lenguaje en el que se lleva a cabo la comunicación científica. Los modos de hablar han madurado y se han incrementado. Para lograr este fin, las ciencias experimentales ya no sólo utilizan símbolos, como los de las matemáticas, sino toda una serie de nuevos dispositivos e instrumentos, como el STM, el microscopio escáner de túnel, u otras prácticas experimentales de tipo empírico.

Las ciencias de campo, como partes de la biología o de la geología que no pueden depender de los experimentos, han tenido que desarrollar otros métodos para conversar con la naturaleza, al tiempo que siguen dependiendo de evidencias empíricas cuidadosamente comparadas, datadas y valoradas de registros fósiles y de estratos geológicos, de depósitos minerales, vida vegetal y otros elementos similares. Ellas también buscan establecer una forma de comunicación con la naturaleza allí donde ésta se muestra dispuesta a contar su historia con todos sus detalles y variaciones locales. Los nuevos instrumentos y métodos, como la creciente sofisticación de los métodos de datación de las muestras geológicas y fósiles, también han abierto aquí nuevas posibilidades para plantearse cuestiones siempre novedosas.

Actualmente, por ejemplo, los científicos han empezado a trabajar sistemáticamente en la historia medioambiental de la tierra. La paleoclimatología trata de desentrañar los grandes cambios por los que han pasado las condiciones climáticas de la tierra, y bajo qué condiciones se produjeron. Hacer hablar a la tierra, por decirlo así, de modo que ésta pueda contar su propia historia en términos relevantes para la comprensión de las actuales tensiones medioambientales, supone emplear una combinación de métodos y modelos, de datos de observación y métodos de medición por inferencia, todo lo cual, tomado en su conjunto, permite un nuevo grado de densidad de comunicación en el trabajo hacia la consecución de tales objetivos.

Estos ejemplos, tomados de las ciencias experimentales y de las ciencias de campo, demuestran que la comunicación no es un fenómeno limitado a las ciencias sociales y las humanidades. Los científicos sociales también tratan de hacer hablar a su sujeto de estudio, mientras que los historiadores son muy conscientes de que la reinterpretación de la historia nunca termina. En las humanidades, un filósofo como Derrida (1976) afirma que se puede hacer hablar al texto por sí mismo e incluso en contra de sí mismo. En todos estos casos, intervienen significados e interpretaciones. Los elementos del pasado, como en la historia, o del texto, como en la crítica literaria, se eligen de modo consciente y crítico, a la vista de la actual importancia teórica o social y de la importancia que pueda tener para el futuro. La comunicación con la naturaleza o con la sociedad nunca es un fin en sí

mismo. Permanece vinculada con los intereses y las prácticas sociales de aquellos que se comunican.

Todas las ciencias, sin embargo, tienen que desarrollar métodos y comprobar sus intereses para impedir que la naturaleza o su análogo les diga sólo lo que ellos, los científicos, desean escuchar. Tienen que asegurarse de que la comunicación siga siendo auténticamente comunicativa, en el sentido de que no todas las posibles interpretaciones o respuestas son aceptables, sino sólo aquellas que hayan sido cuidadosamente salvaguardadas contra la percepción de las propias voces de los científicos, en una especie de efecto de eco. Cuando practican la ciencia, los científicos tienen que ser realistas. Están convencidos de que ahí fuera existe alguna clase de realidad con la que han establecido una forma adecuada de comunicación, no sólo verbal o conceptualmente, sino también en un sentido robusto y técnico. Si aceptamos que la teoría y la práctica científicas son intrínsecamente subdeterminadas en relación con una realidad supuestamente existente ahí fuera, podemos empezar a apreciar hasta qué punto tiene que estar presente la sociedad para constituir un lenguaje que permita rellenar los intersticios y huecos que aparezcan en esta forma coloquial de comunicación con la naturaleza. Cuanto más sofisticada y compleja se hace una sociedad, tanto más denso será el contenido y la forma del diálogo con la naturaleza. En consecuencia, una ciencia altamente desarrollada y tecnológicamente sofisticada, puede producir formas todavía más densas de comunicación.

Por continuar con la metáfora, la comunicación con la naturaleza se halla impregnada de sintaxis social, de semántica y de pragmática tecnológica. Puede difundirse si se multiplican los lugares locales en los que se pueda practicar esta forma de comunicación, como es muy probable que haga cuando aumente el número de practicantes científicos, es decir, de interlocutores competentes. Pero cualquier forma de comunicación no es fundamentalmente cuantitativa, sino un complejo fenómeno cualitativo. La riqueza de cualquier comunicación no depende primordialmente de cuántas palabras se utilicen, sino de cuáles y en qué contexto. Y puesto que la comunicación está esencialmente abierta por un extremo, permite no sólo una sino un creciente número de posibilidades de expresión y representación, dependiendo de las características específicas de cada lugar y de cada contexto. Un lenguaje bien desarrollado le permite a uno decir (casi) todo; de ahí la naturaleza abierta del progreso científico. Pero ningún lenguaje, ninguna forma de comunicación puede hallarse desgajada o alejada de los interlocutores y de los elementos discursivos que estos crean. El lenguaje, y cualquier forma de comunicación, sigue siendo altamente específico del contexto, puesto que la semántica, la atribución de significados, es una característica inherente de toda comunicación. Cuanto mayor sea la capacidad para dominar un lenguaje, tanta mayor atención tendrá que prestarse al contexto en el que se produce la comunicación. Si todo se puede decir, es evidente que no todo se dice o, de hecho, se dirá. De ahí que se tengan que establecer intencionada o no intencionadamente prioridades y mecanismos de selección. Si los lugares locales de comunicación con la naturaleza se multiplican progresivamente, empiezan a importar las cuestiones relacionadas con qué se está produciendo.

Algunas innovaciones congruentes y sustanciales

La dinámica de la producción de conocimiento del modo 2, que hemos caracterizado aquí en términos de lo fructíferos que sean los contextos de uso y aplicación, y mediante la canalización renovada de intercambios y pautas de comunicación, no es simplemente una cuestión de forma o proceso. También es una cuestión de sustancia o contenido, ya que el modo 2 se practica en las fronteras mismas de alguna investigación tecnocientífica. Entre las más importantes de estas cuestiones sustanciales se incluyen: la extensa recuperación, dentro de la ciencia, de un interés por los procesos y sistemas concretos y particulares, antes que por los principios generales y unificadores; la búsqueda de conocimiento a través del diseño, ya sea en los sistemas físicos o biológicos; el papel constituyente de los modelos computacionales en el comportamiento intelectual y experimental de los científicos y tecnólogos.

La recuperación del interés por las estructuras específicas y ordenadas

Se está produciendo un cambio profundo y extendido en la justificación racional de la investigación científica. En su primera fase, la ciencia moderna se caracterizó por la búsqueda de los primeros principios, como por ejemplo en la búsqueda de una formulación matemática abstracta de las reglas que gobiernan el movimiento de la materia en el espacio y en el tiempo. En esto, la física newtoniana salió triunfante y aportó el primer ejemplo de mucho éxito de lo que debía ser la ciencia. No obstante, parece que la naturaleza es mucho más sutil de lo que permiten los modelos de la física matemática y, como método empírico difuso, la ciencia se ha relajado, aunque no abandonado su búsqueda de los primeros principios, y se ha dedicado más y más a tratar de comprender los fenómenos y pro-

cesos naturales mediante la utilización de las ideas, técnicas y métodos capaces de producir esa comprensión. Un ejemplo de esta tendencia es el empleo de medios técnicos cada vez más sofisticados para explorar el mundo, es decir, para reunir datos que utilizar para comprobar una amplia variedad de estructuras intelectuales. Esta expansión de los medios tecnológicos ha permitido realizar un análisis mucho más sofisticado y difundir muchas de estas técnicas de una disciplina a otra. Esto queda bien ilustrado por la historia de la resonancia magnética nuclear, que se ha difundido desde la física, a través de la química, hasta la biología y a su utilización actual en el diagnóstico médico. Este enfoque con respecto a la naturaleza ha sido extremadamente fructífero en ideas y descubrimientos, así como en aplicaciones prácticas, y no parece haberse visto muy retrasado por el hecho de no haber logrado encontrar un conjunto de primeros principios en la ciencia nuclear. Antes al contrario, ha producido una creciente conciencia del poder y la gama de métodos empíricos que han apoyado un creciente interés por lo concreto y lo particular. Este cambio puede observarse no sólo en la sustitución gradual de la física por la biología como ejemplar de la ciencia, sino, más en general, en el abandono de cualquier ideal al que todas las ciencias debieran aspirar. En su lugar, ha aparecido un pluralismo de enfoques que combinan datos, métodos y técnicas para satisfacer las exigencias de contextos específicos.

Conocimiento a través del diseño

Una consecuencia, relacionada con esta preocupación general por la comprensión de estructuras específicas y ordenadas, es la intención de utilizar esta comprensión para predecir y controlar su funcionamiento en condiciones específicas. Aunque la producción de conocimiento que persigue fines prácticos ha ocupado siempre un lugar importante, junto con la obtención de una mejor comprensión del mundo físico y social, la innovación a través de un conocimiento científico y tecnológico aplicado en diferentes contextos ha alcanzado ahora un nuevo nivel. Las bio-ciencias, las ciencias de los materiales y las ciencias de los ordenadores y de la información, por ejemplo, se hallan estructuradas ahora con un amplio interés que persigue la aplicación. La búsqueda actual de la arquitectura de los ordenadores de quinta generación se encuentra por detrás, o por delante, de buena parte de la investigación que se lleva a cabo sobre la integración a gran escala de conmutadores electrónicos, y no en pequeña medida sobre la física de los semiconductores o la complicada lógica matemática. Aunque muchos de los problemas que se plantean en estos ámbitos poseen un interés intelectual intrínseco para todos aquellos que trabajan en ellos, ese interés también está siendo continuamente alimentado por los intereses de investigación y prácticos de otros usuarios, como puede verse en la genética, la electrónica, las matemáticas y la física. En lugar de empujar a la ciencia hacia remansos intelectualmente estériles, como llegó a temerse, la expansión hacia nuevos contextos de aplicación proporciona ambientes atractivos y desafiantes. El intercambio reiterativo e intelectualmente fértil de conceptos, métodos e instrumentación, continúa ampliando nuestra comprensión de los fenómenos, tanto naturales como artificiales, y por lo tanto de las posibilidades de manipularlos y controlarlos.

Un aspecto importante de este desarrollo, que todavía se encuentra en sus inicios, es que ha hecho posible invertir los procedimientos convencionales para producir ciertas sustancias como las moléculas, los productos químicos y los materiales. En lugar de purificar las sustancias naturales o de recurrir a complejas reacciones para obtener aquellas que tengan las propiedades deseadas, se pueden construir ahora los materiales necesarios átomo a átomo, o molécula a molécula, mediante diseño, con el propósito de obtener un producto con propiedades previamente especificadas y que posea ciertas funciones deseadas. Es concebible, por lo tanto, diseñar una gama de materiales mucho más amplia que antes, y se ha hecho posible la perspectiva de ciencias dedicadas por completo a fabricar materiales artificiales de esta forma. En este régimen, el producto y el proceso mediante el que se fabrican los nuevos materiales han quedado integrados en el mismo proceso de diseño, incluidos los usos específicos y las funciones que se tiene la intención de que cumpla el producto en cuestión. Los procesos de fabricación se hacen más eficientes no sólo en términos de costes, sino, lo que es más importante, en términos de reducción del impacto medioambiental adverso, al mismo tiempo que se abre una gama completamente nueva de posibilidades (tal como afirman, especialmente, los defensores de la «vida artificial»).

Modelación por ordenador

Puesto que tanto el diseño de materiales específicos como su fabricación está siendo cada vez más controlado por los ordenadores, esto abre el camino para el desarrollo de rutinas que sean independientes de la aplicación concreta, y que se puedan utilizar para satisfacer una amplia variedad de necesidades. El diseño y la producción de una nueva generación de materiales avanzados depende por tanto críticamente de la tecno-

logía de la información. Esto destaca la importancia de la infraestructura de la tecnología de la información y de las comunicaciones en todo el proceso de investigación, y el surgimiento de una ciencia y una tecnología basadas en los ordenadores. El proceso experimental, con su subyacente enfoque de ensayo y error en el mundo empírico, se está viendo cada vez más complementado, si no en parte sustituido, por los nuevos modelos computacionales de simulación y de imaginería dinámica.

Referencias

BARNES, B. (1985), *About Science*, Oxford, Blackwell. (*Sobre Ciencia*, Barcelona, RBA, 1995.)

BECHER, T. (1989), *Academic Tribes and Territories*, Society for Research into Higher Education, Milton Keynes, Open University Press.

DERRIDA, J. (1976), *Of Grammatology*, Londres y Baltimore, Johns Hopkins University Press. (*De la gramatología*, México, Siglo XXI, 1976.)

DE SOLLA PRICE, D. J. (1963), *Little Science*, Nueva York y Londres, Columbia University Press. (*Hacia una ciencia de la ciencia*, Barcelona, Ariel, 1988.)

FORAY, D. y CONESA, E. (1993), «The economics and organisation of "remote" research programes: beyond the frontier of knowledge», comunicación privada.

JANTSCH, E. (1972), *Technological Planning and Social Futures*, Londres, Cassell.

VON HIPPEL, E. (1976), «The dominant role of the user in the scientific instrument innovation process», *Research Policy*, 5 (3), 212-239.

VON HIPPEL, E. (1988), *The Sources of Innovation*, Oxford, Oxford University Press.

WEINBERG, S. (1993), *Dreams of a Final Theory*, Londres, Hutchinson.